

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE INDUSTRIEL

PAR  
MICHEL DEMERS

DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODOLOGIE D'OPTIMISATION DE LA  
MAINTENANCE PAR LA FIABILITÉ POUR LES SYSTÈMES COMPLEXES:  
APPLICATION À UN GROUPE ÉLECTROGÈNE DIESEL DE SECOURS

AOÛT 1998

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

## RÉSUMÉ

Ce mémoire a pour objet le développement d'une méthodologie d'analyse d'un système complexe en vue d'optimiser son programme de maintenance préventive. Cette méthodologie est ensuite appliquée à un cas concret, en l'occurrence un groupe électrogène diesel de secours de la centrale nucléaire Gentilly-2 d'Hydro-Québec.

Cette méthodologie s'articule autour du concept des études d'optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF) qui a été développé par l'industrie aéronautique et qui a été adopté, plus récemment, par l'industrie nucléaire. L'industrie nucléaire a dû adapter cette méthode à son contexte d'exploitation ainsi qu'aux éventuels risques associés à la défaillance d'équipements importants pour la sûreté, la sécurité des individus et la préservation de l'environnement. À ce jour, cette méthode fait encore l'objet de développements importants et la présente étude se veut une contribution à sa formalisation. Pour ce faire, une approche itérative faisant intervenir des techniques d'analyse et de modélisation utilisées à Gentilly-2 a été retenue. Cette approche s'est basée sur la consultation de nombreuses études de fiabilité réalisées dans l'industrie nucléaire sur les groupes électrogènes diesel, en identifiant les techniques alors utilisées et les résultats obtenus.

L'étude débute par l'analyse fonctionnelle du système. Cette analyse nous permet de préciser davantage les fonctions exécutées à l'intérieur du groupe électrogène. Dans ce dernier cas, cette étape a permis l'identification de 13 sous-systèmes, englobant en tout un peu

plus de 65 composants majeurs. Par la suite, une analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) est réalisée pour déterminer les causes de défaillance du système et identifier les moyens existants de détection de pannes. Cette AMDE est complétée par la modélisation de la fiabilité du groupe à l'aide d'un arbre de défaillance afin d'identifier les contributeurs majeurs à la défaillance de ce dernier. Les équipements alors identifiés, à savoir l'alternateur, le relais de détection de sous-tension 27X, le disjoncteur de la barre, la logique de démarrage du groupe et le circuit d'enclenchement et d'interposition, sont alors soumis à un examen détaillé de leurs programmes de maintenance actuels à la lumière des enseignements issus de l'AMDE et de la revue des pratiques d'exploitation de groupes électrogènes diesel de secours dans l'industrie nucléaire. Pour ce groupe d'équipements ciblés, il est recommandé de procéder à un suivi régulier du niveau vibratoire du rotor de l'alternateur et de vérifier systématiquement tous les circuits de logique du circuit de démarrage et du circuit de contrôle pour détecter d'éventuels problèmes liés au vieillissement des circuits imprimés.

En conclusion, la méthode proposée s'est avérée efficiente pour analyser et évaluer l'efficacité de la maintenance pratiquée sur un système complexe.

## AVANT-PROPOS

L'étude de la fiabilité des systèmes a débuté voilà environ une quarantaine d'années, principalement dans le domaine militaire. Elle s'est ensuite progressivement étendue dans l'industrie civile, notamment dans l'aéronautique et l'industrie électronucléaire. Elle est maintenant devenue une science, ayant entraîné la formation d'ingénieurs et d'analystes aux méthodes statistiques et probabilistes propres à ce domaine. C'est une science et un domaine en évolution grandissante, lorsque l'on considère le nombre d'études et de recherches publiées et en cours un peu partout dans le monde.

La fiabilité est définie comme étant la probabilité qu'un composant, un équipement ou un système accomplisse sa fonction requise, dans des conditions données et pendant un intervalle de temps connu. Dans le cadre du suivi de la fiabilité d'un système en exploitation, un objectif de fiabilité est habituellement spécifié pour des conditions de fonctionnement et une période de temps données. Ces deux derniers facteurs sont les principaux contributeurs, mis à part les erreurs humaines et les défauts de conception, à l'évolution de la fiabilité d'un système tout au long de son cycle de vie. C'est pourquoi l'on a recours à des inspections périodiques, des essais et de la maintenance préventive pour suivre, identifier et corriger d'éventuelles dégradations pouvant résulter en une défaillance du système étudié.

Le problème auquel font face actuellement les responsables de la maintenance et les ingénieurs de systèmes, est l'identification du degré d'effort à mettre pour suivre, identifier

et corriger ces dégradations affectant l'objectif de fiabilité. Dans cette recherche d'une solution optimale pour la problématique soulevée, diverses méthodes sont employées dans l'industrie. Des méthodes, telles que la TPM (Total Productive Maintenance) applicables aux entreprises de fabrication pour optimiser la productivité, et l'OMF (Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité) principalement employée dans les industries aéronautique et nucléaire, sont parmi les plus prometteuses. Ces méthodes visent principalement à réduire les coûts de la maintenance. En particulier, l'OMF, de l'anglais RCM (Reliability-Centered Maintenance), est depuis une dizaine d'années très en vogue dans le domaine du nucléaire. Cette méthode vise, outre à diminuer les coûts de maintenance, à augmenter la disponibilité des systèmes en appliquant des pratiques d'inspection, d'essais et de maintenance préventive plus rationnelles et efficaces, par le biais de l'étude de la fiabilité des systèmes. L'OMF est donc une nouvelle philosophie intégrant les concepts de fiabilité et de maintenance des systèmes afin de prévoir, suivre, identifier et corriger les dégradations en vue de respecter l'objectif de fiabilité et de maintenir les coûts d'exploitation au plus bas niveau.

## REMERCIEMENTS

L'auteur souhaite remercier tous les individus ayant contribué à la réalisation de cette étude par leurs commentaires et leur support. En particulier, M. Georges Abdul-Nour, directeur de ce projet de maîtrise, de l'Université du Québec à Trois-Rivières et M. Raynald Vaillancourt, co-directeur, de la centrale nucléaire de Gentilly-2 pour m'avoir permis de réaliser la présente étude, en plus d'y avoir contribué significativement par leurs commentaires lors de nos nombreuses discussions. Je souligne aussi l'aide apportée par M. Jacques Langlois, ingénieur, pour m'avoir fait partager ses connaissances des groupes électrogènes diesel. Je remercie tous les membres de l'équipe Fiabilité pour leur aide et leurs commentaires, en particulier M. Réjean Comeau, pour ses conseils précieux lors de la modélisation du groupe électrogène avec l'arbre de défaillance. J'exprime aussi toute ma gratitude envers les professeurs Daoud Ait-Kadi, de l'université Laval, et René Rochette, de l'Université du Québec à Trois-Rivières, qui ont la gentillesse d'évaluer ce mémoire. Je remercie enfin la direction de la centrale nucléaire Gentilly-2 pour m'avoir octroyé le temps et les ressources humaines et matérielles nécessaires durant tout le déroulement de ce travail.

## AVERTISSEMENT

Hydro-Québec se dégage de toute responsabilité quant à l'utilisation ou l'interprétation qui pourrait être faite des données contenues dans ce rapport par une tierce partie. En aucun cas, Hydro-Québec ne saurait être tenue responsable de tout dommage ou préjudice quelconque lié à une utilisation ou une interprétation fautive de tout ou partie du contenu de ce rapport.



## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	ii
AVANT-PROPOS .....	iv
REMERCIEMENTS .....	vi
AVERTISSEMENT .....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	x
LISTE DES FIGURES .....	xi
LISTE DES SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS .....	xii
LEXIQUE DES TERMES UTILISÉS .....	xiii
CHAPITRE	
I. INTRODUCTION .....	1
1. Revue de la recherche bibliographique .....	7
2. Originalité de l'étude actuelle .....	14
II. SYSTÈME D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE .....	17
1. Présentation de la centrale nucléaire Gentilly-2 .....	17
2. Alimentation électrique de la centrale .....	17
3. Description de l'alimentation électrique de relève de catégorie III .....	21
III. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE .....	27
IV. ÉTUDE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS .....	30
1. Analyse fonctionnelle du système .....	30

2. Analyse des modes de défaillance et de leurs effets. . . . .	33
3. Analyse par arbre de défaillance . . . . .	37
4. Révision du programme de maintenance préventive . . . . .	51
V. LIMITES ET HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE . . . . .	58
1. Exigences de conception. . . . .	58
2. Hypothèses d'exploitation. . . . .	59
3. Hypothèses d'analyse . . . . .	61
4. Frontières du système. . . . .	63
VI. CONCLUSION. . . . .	64
1. Recommandations. . . . .	68
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	69
ANNEXES	
A. Fiche technique du groupe électrogène et des alimentations électriques . . . . .	72
B. Arborescence matérielle du groupe électrogène . . . . .	74
C. Analyse des modes de défaillance et de leurs effets. . . . .	77
D. Arbre de défaillance du groupe électrogène . . . . .	149
E. Facteurs d'importance de l'arbre DGA.CAF . . . . .	181
F. Critères relatifs aux essais pour une fiabilité au démarrage de 95% . . . . .	185
G. Données d'exploitation des groupes électrogènes diesel . . . . .	187
H. Sommaire du programme d'entretien préventif . . . . .	192
I. Sommaire des essais périodiques . . . . .	196
J. Base de données des taux de défaillance des équipements (DGA.TC) . . . . .	197

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Formulaire AMDE. . . . .	35
Tableau 2. Révision du programme de maintenance préventive . . . . .	57
Tableau 3. Interprétation de la progression des défaillances en essai . . . . .	186
Tableau 4. Sommaire du programme d'entretien préventif . . . . .	193
Tableau 5. Sommaire des essais périodiques . . . . .	196

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Les types de maintenance . . . . .	2
Figure 2.	Relation entre la fiabilité et l'effort de maintenance préventive . . . . .	4
Figure 3.	Méthodologie OMF pour les systèmes complexes . . . . .	28
Figure 4.	Diagramme fonctionnel du groupe électrogène. . . . .	32
Figure 5.	Arbre de défaillance simplifié du groupe électrogène en phase de démarrage	41
Figure 6.	Distribution en fréquences de la simulation #1 . . . . .	47
Figure 7.	Distribution en fréquences de la simulation #2 . . . . .	47
Figure 8.	Distribution en fréquences de la simulation #3 . . . . .	48
Figure 9.	Distribution en fréquences de la simulation #4 . . . . .	48
Figure 10.	Distribution en fréquences de la simulation #5 . . . . .	49

## LISTE DES SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

AMDE	: Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets
CANDU	: Canada Deuterium Uranium
c.a.	: Courant alternatif
c.c.	: Courant continu
CCM	: Centre de commande de moteur
DG	: Groupe électrogène diesel (en anglais "Diesel Generator")
kV	: Unité de mesure de tension électrique (kilovolt)
MWe	: Unité de mesure de puissance électrique (Mégawatt électrique)
OMF	: Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité
PERCA	: Perte de Caloporteur
PWR	: Pressurized Water Reactor
PHWR	: Pressurized Heavy Water Reactor
RPM	: Rotation par minute
RUC	: Refroidissement d'Urgence du Coeur
USI	: Universal System Index. Repère d'identification des systèmes utilisé à Gentilly-2.
SRS	: Système Relié à la Sûreté
SSS	: Système Spécial de Sûreté

## LEXIQUE DES TERMES UTILISÉS

### Alimentation électrique d'urgence

Source réservée d'énergie électrique pour des équipements critiques, et pour lesquels une défaillance entraînerait un risque accru pour la santé et la sécurité de la population ou des dommages matériels importants.

### Analyse fonctionnelle

Décomposition d'un système en éléments caractérisés par une ou des fonctions affectant un même objet.

### Composant

Élément dont la défaillance n'est corrigible que par son remplacement systématique par une autre répondant aux mêmes exigences conceptuelles.

### Défaillance

Cessation de l'aptitude d'un élément à accomplir une fonction requise.

### Dégradation

Détérioration progressive des caractéristiques fonctionnelles d'un élément.

### Élément

Chaque objet, chaque chose concourant avec d'autres à la réalisation d'un tout.

### Équipement

Élément constitué d'un ensemble de composants et de mécanismes associés interdépendants, conçu pour procurer une ou des fonctions dont l'accomplissement est considéré

comme nécessaire pour la fourniture d'un service donné.

### Fiabilité

Probabilité qu'un composant, un équipement ou un système accomplisse sa fonction requise, dans des conditions données et pendant un intervalle de temps connu.

### Fonction

Rôle, utilité d'un élément dans un ensemble.

### Mécanisme de défaillance

Processus physique, chimique ou autre qui entraîne une défaillance. Lorsqu'un de ces processus amène une perte progressive de la fonctionnalité d'un élément sans nécessairement en causer la défaillance, on parle alors de mécanisme de dégradation (ou de vieillissement).

### Mode de défaillance

Effet par lequel une défaillance est observée.

### Retour d'expérience

Collecte et identification des faits importants pour la sûreté qui surviennent en exploitation (conduite, entretien, gestion, etc) et à partir desquels on peut identifier des mesures correctives pour améliorer la performance des équipements, systèmes et composants.

### Système

Ensemble formé d'éléments agencés et assurant une fonction déterminée.

### Vieillessement

Observation des effets du temps ou de l'utilisation sur les caractéristiques physiques d'un système, d'une structure ou d'un composant.

## CHAPITRE I

### INTRODUCTION

Cette étude a pour objet la définition d'une méthodologie visant l'amélioration de la maintenance préventive d'un système soumis à des objectifs stricts de fiabilité et de disponibilité et ce, à l'aide de méthodes propres au domaine de la fiabilité.

Le concept de maintenance préventive englobe l'ensemble des activités d'exploitation, tels que les essais périodiques, les inspections routinières, les lectures régulières des capteurs et l'entretien préventif, visant à s'assurer d'une fiabilité et d'une disponibilité maximale d'un système ou d'un équipement. Par opposition, la maintenance corrective s'attarde à remettre en état un équipement ou un système en panne. On retrouve à la figure 1 un schéma décrivant simplement les différentes stratégies de maintenance applicable à un équipement ou un système. On remarque que la maintenance préventive se décompose selon deux philosophies distinctes. La première, la maintenance préventive périodique s'exécute selon un horaire fixe quel que soit l'état des composants. La deuxième philosophie, la maintenance préventive prédictive fait appel à des moyens de diagnostics permettant de dresser un portrait de l'état de l'équipement. Ces moyens de diagnostics peuvent être des essais, des inspections ou des prises de mesures et les résultats qui en découlent sont souvent classés ou répertoriés dans des banques de données afin de suivre l'évolution des paramètres suivis. Un programme du type prédictif est donc une voie tracée vers l'optimisation du programme de maintenance préventive car le remplacement des composants est basé sur une observa-



tion de leurs conditions. À l'inverse, un programme du type périodique ne fait pas intervenir une telle observation, ce qui peut entraîner le remplacement hâtif de composants jugés encore aptes à remplir leurs fonctions.

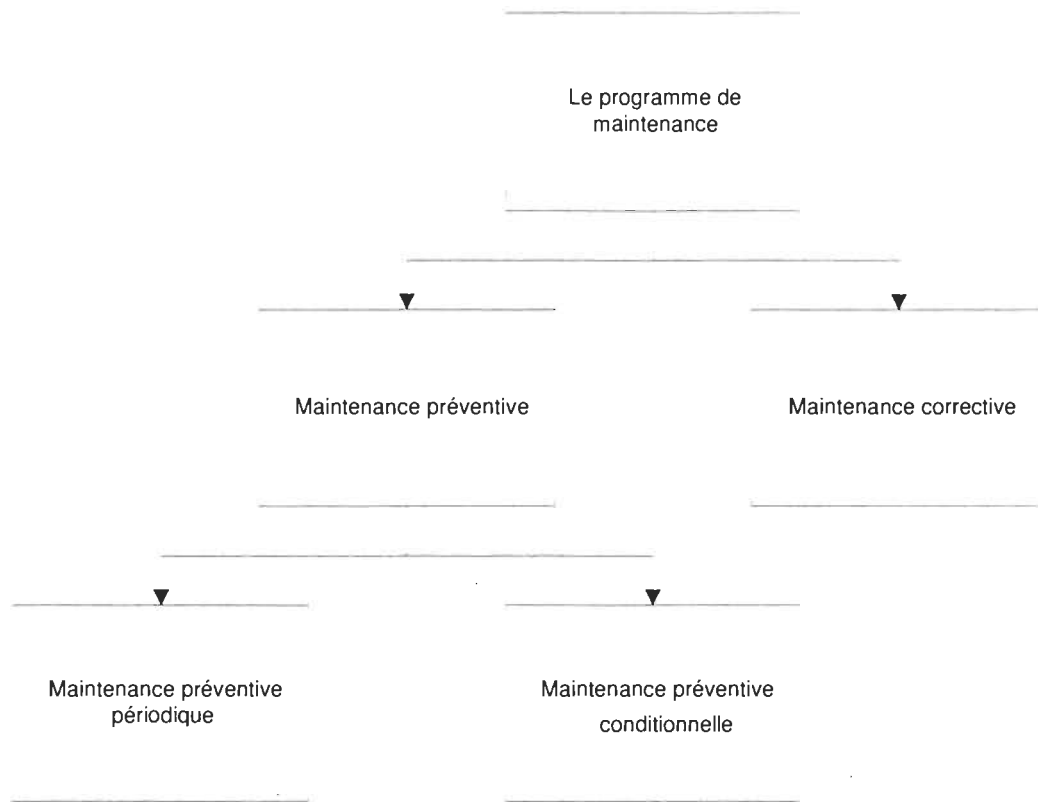


Figure 1. Les types de maintenance.

Idéalement, un système qui est l'objet d'un programme efficace de maintenance préventive ne devrait pas être sujet aux phénomènes de vieillissement. Le vieillissement est un processus progressif, généralement invisible, qui entraîne une diminution de la fiabilité d'un système ou d'un équipement. Les mécanismes associés au vieillissement sont divers et variés. On peut citer les mécanismes les plus fréquents, tels que l'usure, la corrosion, la déformation qui sont habituellement plus évidents. D'autres, par contre, sont quasiment im-

possibles à détecter, tels que le vieillissement naturel des matériaux ou la propagation des fissures. Les causes de ces mécanismes de vieillissement sont les surcharges, les transitoires d'opération associés aux démarrages, aux arrêts ou aux changements de puissance. Même lorsqu'il est à l'arrêt complet, un équipement peut continuer à se dégrader sous l'effet de l'environnement auquel il est soumis. Les vibrations, la température ou une atmosphère corrosive sont des exemples de tels mécanismes qui agissent en fonction du temps. Si ces mécanismes ne sont pas correctement pris en compte par le biais du programme de maintenance préventive, il est à prévoir que des défaillances surviendront et pourraient éventuellement, dans les pires scénarios, avoir des conséquences graves sur la sécurité du personnel, la sûreté de l'installation ou de l'environnement.

Cependant, il n'est pas toujours possible, surtout pour des raisons économiques, de déceler une dégradation ou d'en mitiger les conséquences. On sera alors confronté à la recherche d'un optimum pour l'effort requis de maintenance préventive, si l'on veut atteindre le niveau voulu de fiabilité. Or, la fiabilité d'un équipement ou d'un système est liée à l'effort déployé de maintenance préventive. Un équipement qui n'est aucunement soumis à un programme de maintenance préventive, aura certainement une fiabilité inférieure à celui qui est l'objet d'un programme minimal. La fiabilité d'un équipement qui n'est pas l'objet de maintenance préventive sera qualifiée de naturelle. Un équipement objet d'un programme minimal de maintenance préventive aura une fiabilité qualifiée d'intrinsèque. Lorsqu'un objectif de fiabilité est fixé, ce programme minimal ne s'avèrera probablement pas adéquat, car l'on cherche alors à minimiser les défaillances engendrées par des mécanismes de vieillissement qui se développent avec le temps. La figure 2 illustre la relation entre la

fiabilité et l'effort de maintenance préventive à appliquer lorsqu'un objectif de fiabilité est fixé pour un système ou un équipement donné. Sur cette figure, on remarque que plus la maintenance préventive est adéquate, plus élevée est la fiabilité. De plus, moins un programme est optimisé, plus lente est l'amélioration de la fiabilité de l'équipement. À la limite, un programme mal appliqué, ou inadéquat, peut entacher la fiabilité de l'élément considéré.

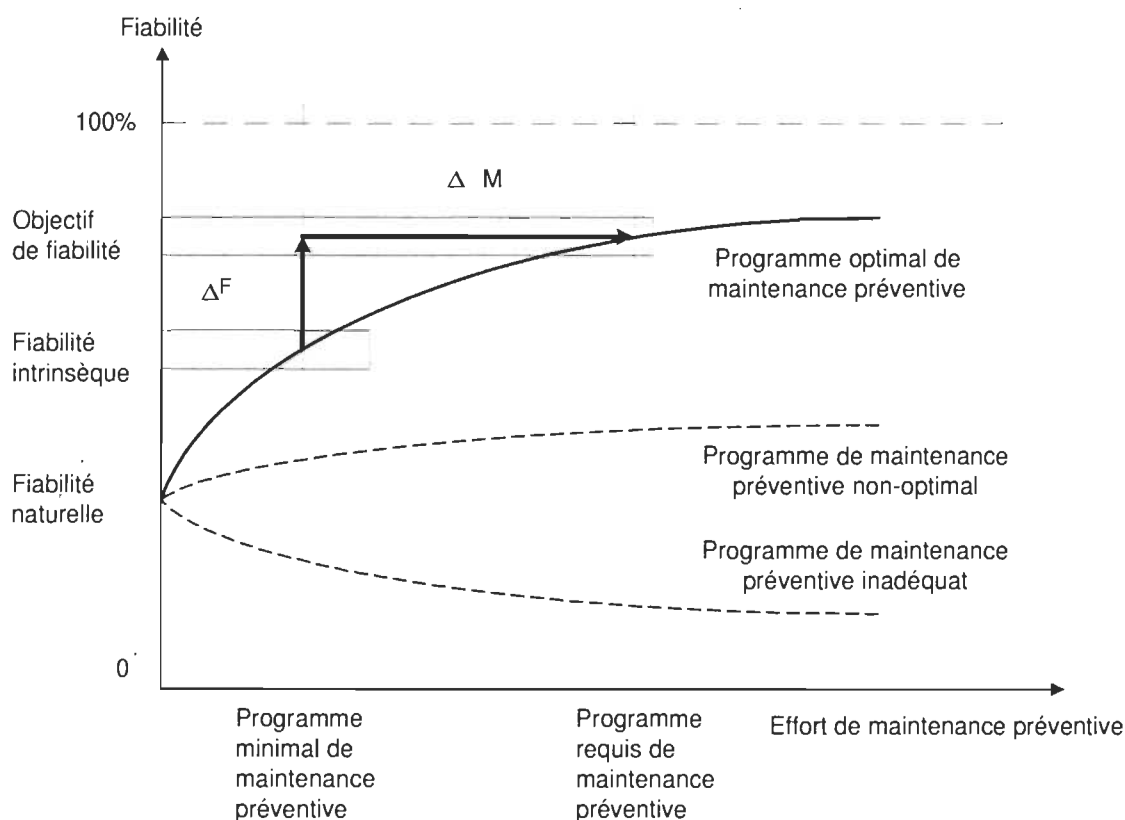


Figure 2. Relation entre la fiabilité et l'effort de maintenance préventive (Mercier, 1992).

Ceci nous amène à étudier la pertinence du programme de maintenance préventive appliqué à un système afin d'être en mesure d'identifier les éléments contributeurs à sa défaillance, de rechercher ses modes de défaillances et de mettre en place des moyens effica-

ces de prévention de certaines dégradations. Cette pertinence s'observe à travers l'étude des sujets suivants :

- l'efficacité des moyens de détection des pannes mis en place, tels que les rondes journalières et l'instrumentation, par une revue de la conception du système et l'identification des contributeurs majeurs à la défaillance de ce dernier;
- l'efficacité des tâches effectuées lors des essais ou de l'entretien, par une connaissance des modes et mécanismes de défaillance du système étudié;
- l'optimisation de la périodicité à laquelle les essais, l'entretien et les inspections sont exécutés, en vue de minimiser l'indisponibilité du système tout en s'assurant du respect des objectifs de fiabilité et de disponibilité posés, par le biais d'études de sensibilité ou de simulations visant l'évaluation de la fiabilité et de la disponibilité du système.

Dans le cadre de cette étude, les moyens permettant l'étude des sujets cités ci-dessus seront expliqués et mis en oeuvre sur un cas pratique. La méthodologie proposée s'articule autour du concept développé des études d'optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF). La méthodologie OMF tire ses origines d'un programme de maintenance préventive développé par l'industrie aéronautique au cours des années 1960<sup>(1)</sup>. Plus récemment, vers la fin des années 1980 aux Etats-Unis et en France, des exploitants nucléaires ont entrepris la réalisation de ce type d'étude sur leurs installations. Aux Etats-Unis, cette méthode

---

<sup>1</sup> Le document MSG-3 (MSG pour Maintenance Steering Group) décrit ce programme de maintenance utilisé dans l'industrie aéronautique.

est connue sous le nom de Reliability-Centered Maintenance (RCM), traduite en français par OMF. Cette méthode, relativement jeune, n'est pas encore l'objet d'un ensemble figé de règles et de critères au sein de l'industrie nucléaire. Au contraire, elle est appliquée au sens large sur des systèmes variés et dans différents buts (diminution du coût de la maintenance, prolongation de la durée de vie des installations, rationalisation du programme existant de maintenance préventive, etc.). Aussi, les moyens mis en place pour la réalisation d'une étude OMF diffèrent. Par exemple, l'utilisation de l'arbre de défaillance du système pour identifier les contributeurs majeurs à sa défaillance est quelquefois remplacé par le jugement d'experts.

Pour cette étude, le choix d'un système a été orienté par des enjeux relatifs à la sûreté de l'installation. Plus particulièrement, ce choix a porté sur celui d'un système relié à la sûreté (SRS) en attente, soit un groupe électrogène diesel de secours du système d'alimentation électrique de relève de la centrale nucléaire Gentilly-2 d'Hydro-Québec. À ce jour, la plupart des études OMF réalisées l'ont été sur des systèmes à plus forts enjeux économiques. De plus, rares ont été les SRS, habituellement en attente, objet de telles études. Ainsi, le fait de réaliser la présente étude s'inscrit dans la poursuite normale du développement de ce concept d'OMF, par l'élargissement de son champ d'application.

Une recherche bibliographique a permis d'établir la pertinence de la présente étude par l'observation des travaux réalisés jusqu'à ce jour sur la fiabilité et la maintenance des groupes électrogènes diesel de secours dans les centrales nucléaires.

### Revue de la recherche bibliographique

Cette section présente les résultats de la recherche bibliographique effectuée à ce jour concernant les études ayant trait aux groupes électrogènes diesel. Le lecteur trouvera en référence une liste plus exhaustive de documents d'intérêt général dans le domaine de la fiabilité et de la maintenance dans le milieu nucléaire.

Hoopingarner et al. (1987), dans le rapport NUREG/CR-4590, ont réalisé une importante étude pour la Nuclear Regulatory Commission (NRC) portant sur l'identification des causes de défaillances et de dégradations des groupes électrogènes diesel de secours dans les centrales nucléaires américaines. Cette étude a porté à la fois sur un échantillon aléatoire de 1984 événements survenus entre 1965 et 1984 sur des groupes électrogènes diesel et sur une consultation avec des experts de l'industrie. De tous ces événements, 1069 furent jugés reliés au vieillissement et de ce nombre, 629 ont résulté en une défaillance des groupes électrogènes. Les éléments les plus concernés par ces défaillances et dégradations dûs au vieillissement sont, en ordre décroissant, l'instrumentation et les logiques de contrôle-commande (26%), le circuit de combustible (15%), le circuit de démarrage à air comprimé (10%), le circuit de refroidissement (10%) et le moteur diesel (9%). Les causes de ces événements sont, en ordre décroissant, les vibrations et chocs mécaniques (32%), les défauts de conception, de fabrication ou d'installation (30%), les conditions environnementales (poussières, humidité, etc.) (15%) et les erreurs humaines (9%). La consultation d'experts, en seconde analyse, a permis d'identifier trois facteurs clés jouant en faveur du vieillissement, jugé prématuré, des groupes électrogènes de secours dans les centrales nucléaires. Ces trois facteurs sont les pratiques courantes d'essais de démarrage sans préchauffage, le

manque d'attention porté à l'entretien attribué aux visites peu fréquentes et à la complexité des procédures exigées pour les systèmes reliés à la sûreté et, enfin, à l'absence, au sein de l'industrie, de procédures de suivi des performances des groupes électrogènes.

Hoopingarner et Zaloudek (1990) font une critique de la norme REG/1.108 de la NRC datant de 1977 qui traite des essais périodiques à appliquer aux groupes électrogènes diesel américains. Leur critique est basée sur les résultats issus du rapport NUREG/CR-4590. Ils recommandent une nouvelle approche concernant l'exploitation des groupes électrogènes, qui prend en compte les causes identifiées du vieillissement de ces derniers. Cette approche se définit en quatre points, à savoir la réalisation d'essais de démarrage avec montée en puissance lente, l'analyse des tendances des paramètres physiques importants, une formation spécifique du personnel de maintenance et la révision des programmes de maintenance actuels.

Mankamo et Pulkkinen (1982) ont étudié les défaillances de cause commune survenues sur des groupes électrogènes diesel de centrales nucléaires américaines. Leur étude est basée sur l'observation de 433 défaillances sur 220 réacteur-années. Les analyses statistiques, basées sur une interprétation des données récoltées, révèlent trois aspects intéressants. Premièrement, ils démontrent que l'indisponibilité d'un groupe électrogène est largement attribuable à son taux de défaillance en attente. Ce taux étant lui-même dépendant de la périodicité des essais. Deuxièmement, l'étude dévoile que la dépendance entre les défaillances de groupes redondants est généralement plus faible que ce qui était reconnu jusqu'à maintenant. À cet effet, on remarque qu'une forte dépendance existe entre les dé-

faillances issues de défauts de conception, alors que cette dépendance est beaucoup plus faible en ce qui concerne les erreurs d'exploitation. Troisièmement, les défaillances dues à des erreurs de conception, de construction ou d'installation sont séparées en deux groupes distincts. Le premier groupe de défaillances survient en général dans les deux premières années d'exploitation et disparaissent par la suite. Le second groupe de défaillances est relié au vieillissement des équipements les plus sensibles et survient habituellement dans les trois à cinq années suivant la mise en service des groupes électrogènes.

Hirschberg et Pulkkinen (1985) ont comparé cinq études portant sur l'analyse d'événements reliés à des défaillances de causes communes à partir des expériences américaines, suédoises et finlandaises. Les causes de ces défaillances sont reliées soient à la conception, la fabrication, l'installation, les essais, l'entretien ou des événements externes. Les résultats statistiques de chaque étude démontrent généralement une bonne corrélation. Les variations notées peuvent être expliquées de plusieurs manières, par exemple les descriptions faites des défaillances sont souvent imprécises, l'inconsistance de la définition donnée au concept de défaillance de cause commune, l'évaluation de la fiabilité des groupes électrogènes souffre de l'approximation qui est faite du nombre de démarrages annuels. À ces raisons s'ajoute aussi le fait que la configuration des groupes électrogènes varie d'une installation à une autre, sans parler des différences existantes au niveau de la conception, des procédures d'exploitation et des politiques de maintenance propres à chaque site. Tous ces facteurs ont une influence indéniable sur l'occurrence des défaillances de causes communes.



Engqvist et Mankamo (1989) ont réalisé une étude de l'impact de trois scénarios d'essais périodiques sur le risque de fusion du coeur, en relation avec l'étude probabiliste de sûreté (EPS) effectuée à la centrale finlandaise Forsmark 1/2. Après une revue des modes de défaillance des groupes électrogènes et une prise en compte du retour d'expérience de l'installation, ils ont soumis chacun des scénarios d'essais à une modélisation de la disponibilité du système et à une étude de sensibilité faisant intervenir les arbres de défaillance reliés à la perte de l'alimentation électrique de l'EPS. Les résultats issus de ces analyses ont été utilisés conjointement avec des consultations tenues avec les ingénieurs du système pour déterminer la configuration optimale du programme d'essais périodiques. En conclusion, les groupes électrogènes de cette centrale sont passés d'un programme faisant intervenir un essai de démarrage hebdomadaire, le quatrième étant réalisé à pleine charge, à un nouveau programme bi-hebdomadaire comprenant un essai de démarrage et un essai de prise en charge.

Magnon et al. (1977) ont calculé les taux de défaillance à la sollicitation et en fonctionnement des groupes électrogènes de la centrale Fessenheim d'Électricité de France à l'aide de la technique des arbres de défaillance. Cette étude a pris en compte les états de fonctionnement suivants : attente, démarrage et fonctionnement. Les résultats sont similaires à ceux obtenus dans WASH 1400, le taux de défaillance en fonctionnement étant égal à  $2,8 \times 10^{-3}$ /heure, comparativement à  $3,0 \times 10^{-3}$ /heure pour WASH 1400, alors que le taux de défaillance en sollicitation est de  $2 \times 10^{-2}$ , alors qu'il est de  $3 \times 10^{-2}$  pour l'étude américaine. Les contributeurs majeurs à la défaillance du système sont les circuits de logiques, le circuit de combustible et le régulateur de tension. Il est important de noter que cette étude a utilisé

abondamment de données génériques, car à cette époque les groupes électrogènes de la centrale de Fessenheim n'avaient qu'un peu plus d'un an d'existence.

Reyraud (1986) a réalisé une étude détaillée des mécanismes de dégradation survenant lors du démarrage des groupes électrogènes. Un examen attentif du niveau de dégradation des groupes électrogènes d'Electricité de France démontre qu'un démarrage équivaut à plusieurs heures de fonctionnement. Son étude est très complète et fait appel aux techniques de l'AMDEC et des arbres de défaillance pour évaluer la probabilité de défaillance et le taux de défaillance, pour les phases d'attente, de démarrage et de fonctionnement. Les contributeurs majeurs à la défaillance d'un groupe sont, en phase d'attente, le circuit de combustible et les contacts électriques, et en phase de démarrage, le système de lancement (logique de démarrage et circuit d'air comprimé), le régulateur de vitesse et le régulateur de tension. Les diverses analyses et le retour d'expérience permettent d'élaborer une formule pour le calcul du nombre d'heures équivalentes de fonctionnement, à savoir

$$He = Hf + \left(5 + \frac{1000}{da}\right)d$$

où  $da$  est le nombre de démarrages par an,  $d$  le nombre total de démarrages pour la période considérée et  $Hf$ , le nombre cumulatif d'heures de fonctionnement.

Winfield (1988) et Winfield et McCauley (1994) ont réalisé une étude de fiabilité basée sur les données récoltées de 1960 à 1992 sur les groupes électrogènes diesel des réacteurs de recherche NRX et NRU des laboratoires de recherche de Chalk River de l'Énergie Atomique du Canada Ltée (EACL). Ces données représentent 358 équipement-années d'expérience pour les groupes électrogènes. L'approche utilisée consiste en l'évaluation des

probabilités de défaillance à la sollicitation et des taux de défaillance en fonctionnement à partir des données de défaillances obtenues des rapports d'entretien et d'essais. Les données ont été classées en fonction des défaillances des sous-systèmes, des défaillances multiples et des défaillances de cause commune. Une comparaison des données numériques obtenues est faite avec les études effectuées par la NRC (CR-2989, 1983) et l'EPRI (NP-2433, 1982). Il en ressort que les groupes électrogènes de Chalk River, bien qu'étant de plus faible puissance et mieux suivis que ceux retrouvés dans les installations nucléaires américaines, leurs taux et probabilités de défaillance sont néanmoins semblables. De même, les contributeurs majeurs identifiés sont le régulateur de vitesse, le disjoncteur principal, la logique de démarrage et le système de démarrage électrique (alors que ce sont généralement des démarreurs pneumatiques sur les diesels de haute puissance).

Husseiny et al (1982) ont modélisé la fiabilité et la disponibilité à l'aide des chaînes de Markov, pour différentes configurations de groupes électrogènes diesel utilisés dans les centrales nucléaires américaines à eau légère. Le nombre de groupes électrogènes diesel de secours dans ces centrales varie de 1 à 5 unités. Un modèle prenant en compte les défaillances de cause commune est élaboré afin d'en mesurer l'impact sur ces systèmes généralement redondants. Des expressions analytiques sont obtenues, en considérant constants les taux de défaillance et de réparation. Ce rapport démontre l'intérêt de la modélisation de l'indisponibilité par les chaînes de Markov pour un système réparable, comme les groupes électrogènes diesel de secours, mais il en illustre en même temps la complexité d'analyse. Cette étude démontre qu'une disponibilité maximale est atteinte lorsque l'on dispose de trois

groupes électrogènes. La raison en est que les défaillances de causes communes prennent de plus en plus d'importance à mesure que le nombre de groupes électrogènes augmente.

Le rapport NP-5924 de l'Electric Power Research Institute (EPRI) (1988) a pour but d'identifier des techniques efficaces de suivi et de diagnostic afin d'améliorer la fiabilité des groupes électrogènes diesel. Cette étude débute par une recherche du retour d'expérience de l'industrie nucléaire américaine sur les groupes électrogènes diesel de secours. Les défaillances observées sont ensuite analysées par des représentants de l'industrie, de certains manufacturiers et d'autres utilisateurs de ce genre de systèmes afin d'émettre des recommandations sur les moyens de détection ou les correctifs applicables. Les solutions choisies sont classées selon l'approche suivante : les modifications à la conception, les changements aux procédures d'exploitation, de maintenance préventive et l'application de systèmes de diagnostic et de signatures. De nombreuses recommandations génériques sont émises et une revue des systèmes de diagnostic et de signatures alors disponibles a été faite. Les systèmes de diagnostic et de signatures alors existants sont jugés insatisfaisants, car certains demandent à ce que le groupe soit retiré du service pour prendre les mesures nécessaires, alors que d'autres ne suivent qu'un nombre très limité de paramètres et l'interprétation qui peut en être faite demande l'aide d'un expert. En dernier ressort, les auteurs font le devis d'un système de diagnostic et de signatures utilisant une base de données et un système expert pour l'aide à l'analyse. Cependant, il n'a pas été réalisé ni implanté.

Vesely et al. (1994) utilise une approche bayésienne empirique pour évaluer les probabilités de défaillance à la sollicitation et en fonctionnement d'un ensemble de 195 groupes

électrogènes, provenant de 63 sites nucléaires américains, observés sur une période de 4 ans. Les données sont soumises à un test d'adéquation pour les lois log-normale et bêta. Les 5<sup>e</sup> et 95<sup>e</sup> centiles de ces deux distributions sont semblables, alors que la probabilité moyenne de défaillance au démarrage est de 0,015. Ceci correspond à une fiabilité au démarrage de 98,5%.

#### Originalité de l'étude actuelle

La plupart des études consultées ont mis l'emphase sur :

1. l'évaluation de la fiabilité des groupes électrogènes pour différentes phases de fonctionnement;
2. l'identification des défaillances de causes communes affectant les groupes électrogènes diesel;
3. l'identification de pratiques d'exploitation contribuant à leur vieillissement et les moyens permettant d'y remédier.

Cette recherche bibliographique a permis de constater que l'identification des causes de dégradations et de défaillances des groupes électrogènes fait souvent appel au jugement d'experts. La connaissance de ces causes, par les experts, n'est supportée que par leur longue expérience souvent liée à la conception, la fabrication et l'exploitation de tels systèmes dans différentes industries et pour diverses applications (alimentation d'urgence dans les aéroports, les hôpitaux, ou en tant que source principale d'électricité dans les régions éloi-

gnées). À de rares occasions, des méthodes systématiques de recherche de causes de défaillance, telle que l'AMDE, sont utilisées (Reyraud, 1986).

En plus, l'identification des mesures correctives fait aussi largement appel au jugement d'experts. Là encore, la recherche exhaustive des bonnes pratiques de l'industrie ne fait pas l'objet d'un encadrement. Or, ce retour d'expérience vécu pour des applications similaires des groupes électrogènes dans l'industrie nucléaire est désormais disponible. Il contribue ainsi à éviter l'apparition de mécanismes de dégradation connus par l'application de moyens de détection ou de pratiques d'exploitation et de maintenance appropriés.

D'autre part, l'importance de la fiabilité des groupes électrogènes diesel de secours dans les centrales nucléaires est indéniable lorsque l'on mesure l'impact potentiel d'une défaillance de ce système sur la sûreté de l'installation. Les groupes électrogènes étant la plupart du temps en attente, la mise en place d'un programme efficace de maintenance préventive est le meilleur moyen pour garantir un niveau de fiabilité et de disponibilité adéquat à leur mission. Cette efficacité du programme de maintenance préventive est assurée par la mise en place d'objectifs et le calcul, à partir des données observées du site, des paramètres de fiabilité et de disponibilité du système. Le groupe électrogène diesel étant un système complexe, l'évaluation de sa fiabilité et de sa disponibilité fait souvent appel à une technique de modélisation, telle que l'arbre de défaillance ou les chaînes de Markov. Comme toute autre modélisation, celle-ci est grandement dépendante de la connaissance qu'a l'analyste du fonctionnement et des particularités du système à l'étude. La mise en place d'une méthode structurée et systématique d'analyse d'un système doit permettre à l'analyste d'en

approfondir sa connaissance, de l'aider à en identifier les causes et les contributeurs à sa défaillance et d'être en mesure de recommander des actions appropriées pour assurer le maintien, voire l'amélioration, de sa fiabilité et de sa disponibilité.

## CHAPITRE II

### SYSTÈME D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

Ce chapitre présente le contexte d'exploitation des groupes électrogènes diesel de secours à la centrale nucléaire Gentilly-2. Une brève présentation de la centrale et de ses alimentations électriques y est faite. On y décrit finalement le groupe électrogène diesel et ses principaux circuits, sa mission et ses objectifs de fiabilité et de disponibilité.

#### Présentation de la centrale nucléaire Gentilly-2

La centrale nucléaire Gentilly-2 est la première d'une série de centrales construites selon une technique conçue et mise au point au Canada.

Cette centrale est du type CANDU-PHW (CANada Deutérium Uranium-Pressurized Heavy Water). Il s'agit d'un réacteur à eau lourde pressurisée dont les principales caractéristiques sont l'utilisation d'uranium naturel comme combustible et l'emploi d'un circuit modérateur à eau lourde (2).

#### Alimentation électrique de la centrale

La centrale nucléaire Gentilly-2 est conçue pour subir, sans dommage, une panne prolongée de l'alimentation électrique du réseau. Il s'agit d'une situation analysée pour

---

2 Les lecteur intéressés par plus de détails sur le fonctionnement général de la centrale nucléaire Gentilly-2 sont priés de contacter le groupe Communication et Relations publiques d'Hydro-Québec. Ils peuvent être rejoints par écrit au : 505, rue des Forges, C.P. 608, Trois-Rivières (Québec) G9A 2H6. Une ligne téléphonique est aussi disponible au (819) 694-3801.



laquelle des systèmes de relèvement sont prévus afin d'assurer la sûreté et de protéger les équipements importants pour la production de la centrale.

Cependant, une augmentation induite de la durée des pannes augmente la probabilité que des défaillances se développent sur certains équipements et systèmes de relèvement. Si ces situations se produisaient, il faudrait recourir à une deuxième série d'équipements de relèvement. Ces derniers ont pour unique objectif d'assurer la sûreté de la centrale. Ils négligent complètement la protection d'équipements pouvant affecter la production de la centrale. Les contraintes imposées à ces équipements pourraient se traduire non seulement par des coûts importants associés à leur inspection, réparation ou remplacement, mais aussi par des pertes importantes de production pendant la durée de ces travaux.

L'expression "services auxiliaires" est un terme générique pour désigner tous les équipements nécessitant une alimentation électrique. Les services auxiliaires comprennent plus d'un millier d'équipements requis pour assurer soit la production électrique de la centrale, soit la sûreté de l'installation nucléaire. Ces équipements se composent principalement d'ordinateurs de contrôle, de logiques de contrôle ou de protection, ainsi que de moteurs associés à des pompes, des compresseurs, des ventilateurs et des vannes.

Au niveau de leurs alimentations électriques, ces équipements sont divisés en 5 catégories, soit les charges de catégorie IV, III, II, I et 0. L'annexe A contient un schéma de l'alimentation électrique en centrale.

#### Charges de catégorie IV

Les charges de catégorie IV sont des charges alimentées par le réseau Hydro-Québec ou par l'alternateur même de la centrale Gentilly-2. Ces charges sont principalement requises pour assurer la production électrique de la centrale. Lors d'une panne du réseau qui entraînerait l'arrêt du réacteur, ces charges peuvent perdre leur alimentation électrique pendant plusieurs heures sans affecter directement la sûreté de la centrale.

#### Charges de catégorie III

L'alimentation électrique de catégorie III de la centrale nucléaire Gentilly-2 est définie comme une alimentation électrique à courant alternatif pouvant être interrompue pendant de courtes périodes (maximum de trois minutes). Elle a pour mission d'alimenter les charges reliées à la sûreté et à la protection des équipements de production de la centrale. La catégorie III dispose de deux sources d'alimentation électrique: la catégorie IV et quatre groupes électrogènes diesel (3) d'une puissance de 2,5 MWe chacun.

Les groupes électrogènes diesel de secours, leur commande et protection, leurs systèmes auxiliaires ainsi que leurs équipements de distribution sont aussi connus sous le titre d'alimentation électrique de relève de catégorie III. Celle-ci alimente les charges essentielles de sûreté nécessaires pour assurer l'arrêt sécuritaire de la centrale et le refroidissement du coeur du réacteur ainsi que le maintien du confinement adve-

---

3 La fiche technique d'un groupe électrogène est fournie à l'annexe A.

nant une perte de l'alimentation électrique de catégorie IV. Un seul groupe électrogène suffit pour alimenter les charges essentielles pour assurer la sûreté de la centrale. Cependant, un minimum de deux groupes électrogènes est requis pour assurer simultanément la sûreté et l'intégrité de tous les équipements reliés à la production de la centrale.

#### Charges de catégorie I et II

Les charges de catégorie I et II sont des charges qui ne peuvent subir aucune coupure d'alimentation électrique sans risque d'affecter la sûreté et la production de la centrale. Ces charges sont alimentées par les mêmes sources que les charges de catégorie III via respectivement, des ensembles redresseurs-onduleurs et des ensembles redresseurs associés à des batteries d'accumulateurs. En cas de défaillance des redresseurs ou de la perte des sources d'alimentation électrique de catégorie IV et III, des ensembles de batteries d'accumulateurs prennent la relève et assurent une alimentation ininterrompue à ces charges.

#### Charges de catégorie 0

Les charges de catégorie 0 sont des charges minimales absolument essentielles pour assurer la sûreté de la centrale lors d'un séisme majeur. Ces charges, ainsi que leur source d'alimentation électrique, soient deux groupes électrogènes diesel de secours d'une puissance de 1 MWe, répondent à de sévères critères de qualification sismique. Elles garantissent ainsi, lors de tremblements de terre importants, l'arrêt du réacteur, la surveillance des paramètres essentiels de sûreté, le refroidissement du

combustible nucléaire et, si requis, le confinement de substances radioactives à l'intérieur du bâtiment du réacteur. Ces fonctions ultimes de sûreté de l'installation requièrent le fonctionnement d'au moins un des deux groupes électrogènes.

### Description de l'alimentation électrique de relève de catégorie III

#### Mission et généralités

L'alimentation électrique de relève de catégorie III a pour mission d'alimenter les charges reliées à la sûreté et à la protection des équipements de production de la centrale. L'alimentation électrique est fournie à l'aide d'un jeu de barres 6,9 kVc.a. et 600 Vc.a. et d'un ensemble de centres de commande de moteurs (CCM).

Les principales charges de la catégorie III incluent certains moteurs 6,9 kVc.a. et 600 Vc.a., l'éclairage, les alimentations électriques de catégories I et II, et certains CCM 600 Vc.a.. Les charges de la catégorie III peuvent tolérer une brève interruption de leur alimentation électrique, le temps nécessaire pour le démarrage des groupes électrogènes, leur raccordement aux barres 6,9 kVc.a. et l'enclenchement séquentiel des charges. Ce temps est inférieur à 80 secondes pour la première séquence de charges (i.e. charges essentielles de sûreté) et jusqu'à trois minutes pour la deuxième séquence (i.e. charges préférées).

Le temps maximum considéré pour le rétablissement par le réseau principal de la catégorie IV est d'environ 24 heures. Ceci constitue donc la période de mission normale de l'alimentation électrique de relève de catégorie. Toutefois, lors de la défaillance de certains équipements qui nécessitent de longues durées pour leur répara-

tion ou leur remplacement, la période de mission de la catégorie III de relève peut atteindre jusqu'à trois mois.

### Fonctionnement de l'alimentation électrique de relève de catégorie III

En cas de perte de l'alimentation électrique provenant des transformateurs de service S12 et S11, d'abord les barres E et F deviennent hors tension. Ceci commande l'ouverture de tous les disjoncteurs des charges motorisées qui y sont reliées (côté amont et aval). Puis, chacune des barres 6,9 kVc.a. E et F est alimentée en dedans de 45 secondes par une alimentation électrique d'urgence. Celle-ci est constituée de quatre groupes électrogènes (DG1 à DG4) de 2500 kW chacun. Les groupes DG1 et DG3 sont attitrés à la barre E et font partie du système "impair", tandis que les groupes DG2 et DG4 sont attitrés à la barre F et font partie du système "pair".

Les deux groupes électrogènes de la même parité démarrent automatiquement à la suite de la mesure d'une tension nulle sur la barre à 6,9 kV correspondante. Le premier groupe électrogène qui atteint sa tension et sa fréquence nominale se couple à la barre sans synchronisation. Aussitôt que la production d'énergie par les groupes électrogènes diesel de secours est assurée, un système de réenclenchement séquentiel des charges assure à nouveau l'alimentation électrique de celles-ci. Lorsque le premier groupe électrogène diesel de secours est couplé à la barre, les charges essentielles de sûreté sont alimentées. Puis, quand le second groupe électrogène diesel de secours se synchronise à son tour, ce sont les charges préférées qui sont alimentées.

La puissance minimale requise pour alimenter les charges nécessaires à la sûreté de la centrale, en prenant en considération le pire scénario, est d'environ 2,7 MW. Dans cette situation, un seul groupe électrogène est suffisant pour fournir la puissance nécessaire pour satisfaire les besoins de sûreté de la centrale. Un groupe électrogène est, dans cette situation, appelé à fonctionner à 110% de sa puissance nominale. Cette situation d'exploitation d'un groupe électrogène diesel de secours ne peut durer que deux heures, pour chaque période de 24 heures consécutives.

L'opérateur doit procéder au délestage des charges moins critiques pour la sûreté afin de permettre le fonctionnement du groupe électrogène diesel de secours dans les limites de sa puissance nominale.

#### Description des groupes électrogènes diesel

Le groupe électrogène considéré dans cette étude est le 5460-DG-1. Le moteur diesel est un 18 cylindres en V, quatre temps, turbocompressé. Son système de carburation utilise des injecteurs mécaniques. Sa vitesse de rotation nominale est de 900 RPM. L'alternateur est directement accouplé au moteur diesel. Sa tension nominale est de 6,9 kV c.a. pour une puissance de 2,5 MWe.

Les principaux circuits de ce groupe électrogène sont :

1. le circuit de démarrage à air comprimé;
2. le circuit de refroidissement et de pré-chauffage;

3. le circuit de combustible;

4. le circuit de lubrification.

Le circuit de démarrage à air comprimé est doté d'un compresseur électrique, d'un réservoir d'air comprimé, de deux vannes solénoïdes et de deux démarreurs pneumatiques. Le compresseur électrique possède une redondance, advenant sa défaillance, composée d'un motocompresseur diesel. Sur un signal commandant le démarrage du groupe, les deux vannes solénoïdes s'ouvrent pour permettre le passage de l'air vers les démarreurs pneumatiques qui entraînent la rotation du moteur diesel. Étant donné que le groupe électrogène doit être disponible en tout temps, le circuit d'air comprimé est toujours pressurisé.

Le circuit de refroidissement et de pré-chauffage possède deux fonctions distinctes. La première, active alors que le groupe est en attente, est le pré-chauffage du bloc moteur assuré par une circulation du fluide de refroidissement. Ce fluide est chauffé à l'aide de deux éléments chauffants et la circulation du fluide assurée par une motopompe électrique. Ce pré-chauffage, qui maintient le moteur à une température entre 50 et 60 degrés Celsius, sert à limiter les contraintes thermiques liées à un démarrage. La seconde fonction assurée par ce circuit est le refroidissement du bloc moteur lorsque le groupe est en fonctionnement. L'extraction de chaleur du fluide est réalisée au travers d'échangeurs de chaleur dont la source froide est constituée du circuit d'eau de service recirculée (ESR). La circulation du fluide est assurée par une pompe entraînée directement au moteur diesel.

Le circuit de combustible a pour fonction d'assurer une alimentation en carburant au moteur diesel. Il est constitué de deux réservoirs distincts. Le premier réservoir est situé à l'extérieur et a une capacité de 90 920 litres, alors que le second, appelé réservoir journalier, peut contenir jusqu'à 2273 litres de carburant diesel. Ces deux réservoirs sont connectés et la circulation du carburant s'effectue par l'entremise d'une motopompe électrique du réservoir extérieur vers le réservoir journalier. Au démarrage, une motopompe électrique assure le gavage en fioul au moteur diesel. Cette motopompe possède une redondance constituée par une pompe manuelle pouvant être actionnée par un opérateur. Dès que le moteur diesel tourne, il entraîne la pompe principale de combustible.

Enfin, le circuit de lubrification assure le maintien d'un film d'huile sur les composants et mécanismes mobiles internes au moteur diesel. En état d'attente, la circulation d'huile est assurée par la redondance de deux motopompes électriques. Advenant la défaillance de ces deux pompes au démarrage, une pompe manuelle est aussi disponible pour assurer une lubrification adéquate. L'huile est refroidie au travers d'un échangeur de chaleur situé sur le circuit de refroidissement. Dès que le groupe est en marche, une pompe actionnée par le moteur assure la circulation d'huile.

#### Mission de sûreté de l'alimentation électrique de relève de catégorie III

La mission de sûreté de l'alimentation électrique de relève de catégorie III, en tant que SRS, est de fournir une alimentation électrique de catégorie III lors d'une perte partielle ou totale de la catégorie IV.



### Objectif de fiabilité

Aucun objectif réglementaire de fiabilité ou de disponibilité n'est spécifié pour la catégorie III. Toutefois, la majorité des études matricielles de sûreté et autres études de fiabilité des systèmes de la centrale ont utilisé des valeurs d'indisponibilité de la catégorie III par les groupes électrogènes diesel de secours de l'ordre de  $2,5 \times 10^{-3}$  année/année. Cette valeur ne tient pas compte de l'indisponibilité de l'alimentation électrique de catégorie I qui est identifiée comme un mode commun de défaillance de l'alimentation électrique de relève de catégorie III. De même, un objectif de fiabilité au démarrage de 95% est donné, mais ne constitue pas une exigence réglementaire.

## CHAPITRE III

### MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

La méthodologie adoptée dans le cadre de cette étude est développée ici, en fonction des objectifs précédemment définis. La démarche proposée s'articule autour des étapes suivantes :

1. L'analyse fonctionnelle du système;
2. L'analyse des modes de défaillance et de leurs effets;
3. La modélisation à l'aide de l'arbre de défaillance;
4. La revue du programme de maintenance préventive ainsi que des pratiques et des expériences vécues par l'industrie;
5. La modélisation et la simulation des modifications proposées au programme de maintenance préventive.

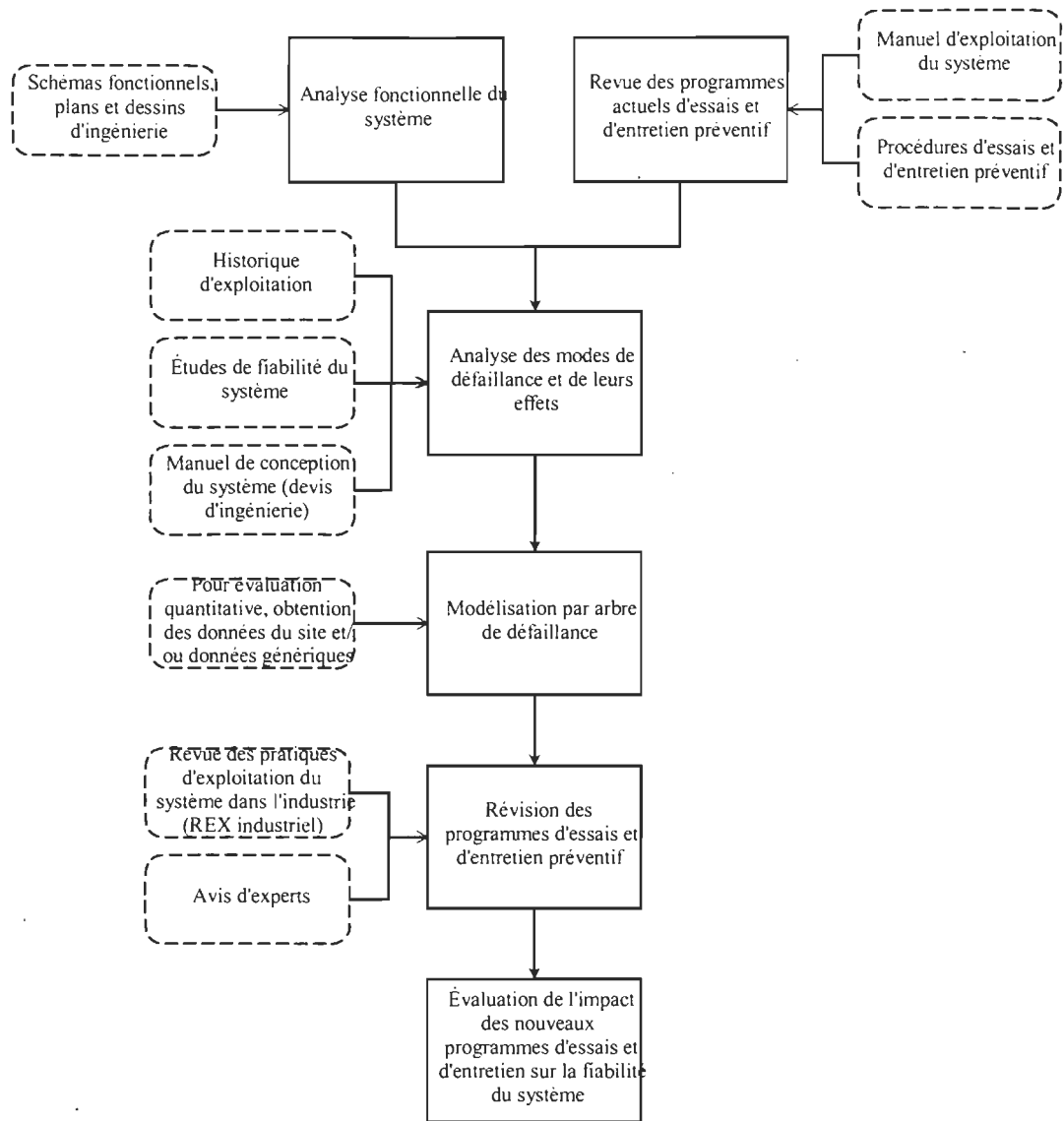


Figure 3. Méthodologie OMF pour les systèmes complexes.

La figure 3, ci-dessus, illustre la méthodologie proposée dans le cadre de ce travail. Il va sans dire que ce processus est plus itératif que linéaire, comme le laisserait supposer cette figure. Par exemple, si l'évaluation de l'impact du programme révisé de maintenance préventive par rapport aux objectifs de fiabilité et de disponibilité se montrait défavorable, alors le retour à l'étape précédente serait de mise. La même chose se produit lorsque l'on

analyse la fiabilité du système par l'entremise de méthodes complémentaires, telles que l'AMDE et l'arbre de défaillance. L'arbre de défaillance a été réalisé suite à l'AMDE, car cette dernière est un excellent moyen d'apprentissage et de familiarisation avec le système. Cependant l'AMDE, ainsi que l'analyse fonctionnelle, ont profité des résultats obtenus par la modélisation qualitative de l'arbre de défaillance, surtout au niveau de la prise en compte des causes et des modes communs de défaillance.

On remarque que le choix du système, sur lequel cette méthodologie pourrait être appliquée, peut aussi faire l'objet de critères basés sur des considérations économiques, de sécurité et de sûreté, pour allouer efficacement les ressources disponibles. À ce sujet, le groupe électrogène, en tant que SRS, est un élément important pour la sûreté de la centrale nucléaire lors de situations incidentelles. Son impact économique est aussi indéniable, puisqu'il assure l'alimentation électrique de plusieurs charges reliées à la production de la centrale, diminuant ainsi les périodes d'indisponibilité de l'outil de production.

Le chapitre suivant traitera des méthodes utilisées et des résultats issus de l'application de cette méthodologie sur le groupe électrogène diesel.

## CHAPITRE IV

### ÉTUDE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Ce chapitre présente les méthodes utilisées, les résultats obtenus et les enseignements reçus nécessaires à la continuation et au développement de la méthodologie.

#### Analyse fonctionnelle du système

L'analyse fonctionnelle du système consiste en l'identification des fonctions internes, réalisées par les différents circuits et équipements qui le composent, nécessaires à la réalisation de sa mission. Cette connaissance des interactions fonctionnelles entre tous les éléments du système est nécessaire pour évaluer, par exemple, les conséquences d'une défaillance d'un élément sur le reste du système, ou pour modéliser, tout simplement, la fiabilité de l'ensemble.

L'identification des fonctions internes a nécessité l'aide des ingénieurs de systèmes et, en particulier, d'une expertise interne reconnue en matière de groupes électrogènes diesel. Cette étape a aussi bénéficié de travaux similaires visant à identifier les frontières physiques des groupes électrogènes diesel. Entre autres, le recours à un schéma retrouvé dans la norme sur les essais périodiques ANSI/IEEE Std 749-1983(4) a permis d'harmoniser les résultats de cette étude avec plusieurs autres (NUREG/CR-5078, Winfield (1988)). De

---

4 La norme ANSI/IEEE Std 749-1983 porte sur un programme d'essais périodiques appliqués aux groupes électrogènes de secours dans les centrales nucléaires. Le programme d'essais actuellement appliqué aux groupes électrogènes à Gentilly-2 n'est pas basé sur cette norme.

plus, des documents d'ingénierie, dont les schémas fonctionnels, les manuels de conception et d'exploitation, les plans et dessins, ont été très utiles pour définir les relations et les fonctions des divers éléments.

Cette consultation d'experts a été nécessaire en vue d'identifier chacun des équipements à un groupe spécifique, à qui l'on a donné le nom de "sous-système". Par exemple, la fonction de l'échangeur de chaleur du circuit de lubrification est d'extraire la chaleur de l'huile de ce circuit et de la transférer au fluide du circuit de refroidissement. Bien qu'une rupture des tubes intérieurs puisse entraîner une contamination du fluide de refroidissement et causer la panne du groupe électrogène, il est beaucoup plus probable qu'une simple diminution de l'efficacité de cet échangeur résulte en une augmentation notable de la température d'huile. C'est pourquoi cet échangeur de chaleur est inclus dans le sous-système défini par le circuit de lubrification. Cependant, une rupture de tubes de cet échangeur est prise en compte en tant qu'événement initiateur menant à la défaillance du circuit de refroidissement. Le premier résultat de cette analyse fonctionnelle, nommé "diagramme fonctionnel", est illustré à la figure 4. Ce diagramme fonctionnel présente les sous-systèmes fonctionnels identifiés et les dépendances existantes entre eux. Le deuxième résultat de cette étape de l'étude, appelée "arborescence matérielle", regroupe l'identification des fonctions et des équipements nécessaires à leur réalisation par sous-systèmes. Elle se retrouve à l'annexe B.

Dans le cadre de cette étude, l'analyse fonctionnelle des groupes électrogènes diesel a résulté en l'identification de 13 sous-systèmes. La figure 4 illustre le type de dépendance existant entre chacun, selon qu'il s'agisse d'une alimentation électrique, en combustible, en

huile ou en air comprimé. Les circuits de logique de détection et de commande y sont aussi illustrés.

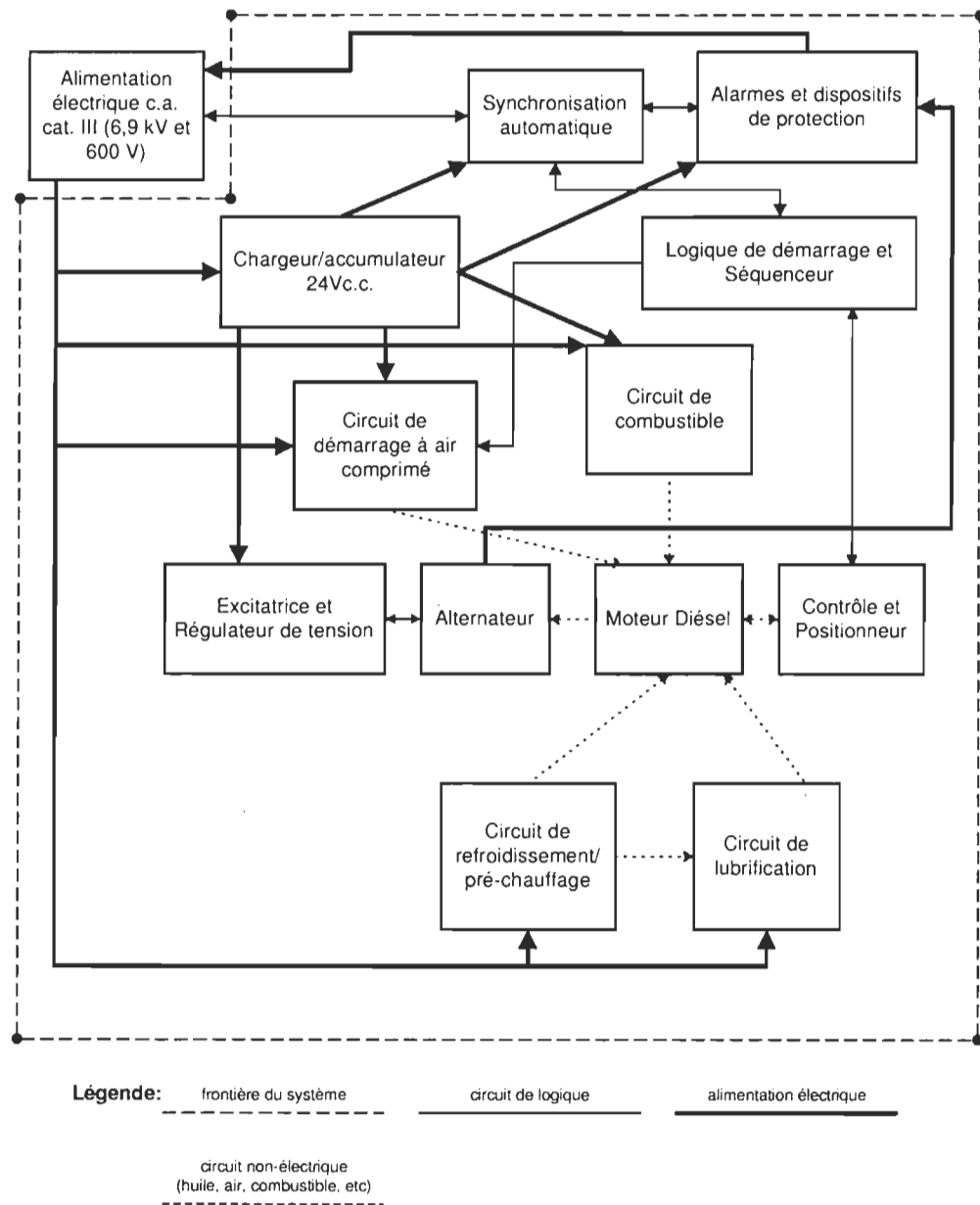


Figure 4. Diagramme fonctionnel du groupe électrogène.

L'arborescence matérielle, pour sa part, est l'identification, pour chacun des sous-systèmes identifiés à l'étape précédente, des équipements principaux qui les caractérisent. Les équipements constituent le dernier niveau technologique pris en considération dans cette étude. Par définition, un équipement est généralement conçu et fabriqué sous la responsabilité d'un seul et même industriel. De plus, chaque équipement fait généralement l'objet d'un programme de maintenance particulier. Ce faisant, ce niveau de détail est suffisant pour nous permettre d'effectuer une analyse des modes de défaillance et de leurs effets.

Ces deux produits, le diagramme fonctionnel et l'arborescence matérielle, sont d'une extrême importance lors de la réalisation de l'AMDE et de l'arbre de défaillance. On peut d'ailleurs remarquer les similitudes existantes entre l'arborescence matérielle et l'arbre de défaillance. L'analyse fonctionnelle, pour un système complexe, s'est révélée utile :

1. en tant qu'outil de recherche des fonctions et des équipements importants pour la mission du système;
2. en tant qu'outil de synthèse pour l'analyse des causes et des conséquences de la défaillance des éléments du système;
3. en tant qu'outil de vérification de la pertinence des analyses et des modélisations du système et de ses éléments, en vertu de 1 et 2.

#### Analyse des modes de défaillance et de leurs effets

Une AMDE a été réalisée sur le groupe électrogène diesel en respectant les principes émis dans la norme MIL-STD-1629A. Cette norme est reconnue et adoptée mondialement pour ce genre d'études.



### But de l'AMDE

Le but de cette AMDE est double. Premièrement, elle vise l'identification des causes de défaillance au niveau des éléments de chacun des sous-systèmes. Deuxièmement, elle recherche les moyens de détection des pannes de chacun des éléments. Ceci a résulté en une revue exhaustive des moyens de mesures, d'alarmes et des dispositifs de protection existant sur le groupe électrogène diesel.

### La démarche AMDE

L'AMDE réalisée ici est basée exclusivement sur la conception du groupe électrogène diesel. Elle est incluse à l'annexe C.

La recherche des causes de défaillance et des moyens de détection des pannes s'est faite au travers des résultats de l'analyse fonctionnelle, des manuels de conception et d'exploitation et des schémas fonctionnels du système.

L'AMDE s'est vue bonifiée par l'ajout de données génériques sur les taux et probabilités de défaillance des équipements traités. Ces données quantitatives ont été rajoutées pour faciliter la construction de l'arbre de défaillance par la centralisation des informations. Ces données génériques pourront être remplacées à mesure que des données spécifiques au site de Gentilly-2 seront disponibles, suite à la prise en compte de l'historique d'exploitation.

Tableau 1  
Formulaire AMDE

<u>Item</u>	<u>Description</u>
Sous-système	Identification du libellé du sous-système
Équipement	Identification du libellé et du numéro d'équipement
Causes de défaillance	Identification des causes de défaillance de l'équipement
Conséquences de la défaillance	Identification des conséquences de la défaillance
Probabilité ou taux de défaillance	Données numériques génériques et références des sources

L'architecture des informations de l'AMDE est présentée au tableau 1. On y retrouve l'identification du sous-système et de l'élément considéré, les causes et les conséquences d'une défaillance, les moyens de détection existants et une référence à des paramètres génériques de défaillance.

#### Résultats de l'AMDE

L'application de cette méthode a engendré les résultats globaux suivants :

1. Identification des modes et causes potentiels de défaillance;
2. Identification des moyens existants de détection des pannes;
3. Analyse sommaire des conséquences des défaillances sur le système;
4. Outil supplémentaire de familiarisation avec le fonctionnement du système.

#### Conclusion sur l'application de l'AMDE

En résumé, l'AMDE du groupe électrogène diesel a servi à deux fins complé-

mentaires, soit l'identification des moyens existants de détection des pannes et la recherche des causes de défaillance au niveau des sous-systèmes. La suite de cette étude pourrait inclure :

1. la revue de l'historique d'exploitation du système pour identifier les problèmes vécus antérieurement,
2. un approfondissement de l'analyse jusqu'au niveau des composants et mécanismes de chacun des équipements étudiés pour juger de la pertinence du programme de maintenance préventive par la revue des modes de défaillance,
3. une étude systématique des conséquences de la défaillance des équipements en vue d'obtenir un indice de criticité de la gravité des défaillances. Cet indice de gravité, attribué à chacun des modes de défaillance de l'élément, est ensuite pondéré par sa probabilité d'occurrence, issue de la revue de l'historique d'exploitation, pour amener la réalisation d'une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités (AMDEC). L'AMDEC permet ensuite la hiérarchisation des équipements selon la criticité de leurs défaillances pour une revue efficace de la pertinence du programme de maintenance préventive.

L'AMDE est une méthode inductive et systématique d'analyse d'un système et elle est très bien complétée par le raisonnement déductif apporté par l'arbre de défaillance. De plus, la recherche des causes de défaillance au travers de la méthode

AMDE procure un avantage indéniable lorsqu'il s'agit de modéliser les relations de causes à effet à l'aide d'une technique telle que celle de l'arbre de défaillance.

#### Analyse par arbre de défaillance

La méthode de l'arbre de défaillance a été choisie pour la modélisation de la fiabilité au démarrage du groupe électrogène diesel. L'arbre de défaillance est principalement utilisé ici afin d'identifier les contributeurs importants à la défaillance du groupe. Accessoirement, cet arbre de défaillance sera aussi utilisé pour évaluer, de façon simple, l'impact d'une variation de la probabilité de découverte des défaillances lors d'essais ou d'entretiens préventifs sur la fiabilité au démarrage de ce dernier. Il se trouve à l'annexe D.

L'utilisation de l'arbre de défaillance est régie fondamentalement par la théorie de l'algèbre booléenne. Un arbre de défaillance est assimilable à une photo, prise à un instant précis, d'un système dans une configuration physique figée. L'arbre de défaillance est d'une utilisation relativement simple et son emploi est généralisé dans l'industrie nucléaire, surtout dans le domaine des études probabilistes de sûreté (5).

La réalisation et l'évaluation de l'arbre de défaillance s'est faite à l'aide du logiciel CAFTA for Windows, version 3.2 b. Ce logiciel est dédié à la modélisation par arbre de défaillance et permet l'obtention et le calcul des coupes minimales. Ces coupes minimales sont ensuite utilisées pour calculer les facteurs d'importance afin d'identifier les contributeurs majeurs à la défaillance du système.

---

5 La théorie reliée à la modélisation par arbre de défaillance est expliquée dans le rapport NUREG-0492 "Fault Tree Handbook", cité en bibliographie.

Le recours à des données génériques s'est avéré nécessaire pour faire une évaluation quantitative de l'arbre de défaillance. Ces données génériques concernent les taux et probabilités de défaillance des événements modélisés. La faible quantité de données disponible sur le site ne nous permet pas une évaluation réaliste et adéquate, statistiquement parlant, de la fiabilité des groupes électrogènes. Les données génériques, portant sur un échantillonnage important d'équipements similaires, sont adéquates dans le cadre de la présente étude. Néanmoins, les valeurs observées d'indisponibilité et de temps de fonctionnement du groupe sont utilisées. La base de données des taux de défaillance est à l'annexe J.

#### Définition de la défaillance du système

La définition de la défaillance du système est le défaut de fournir une alimentation électrique en courant alternatif de 6,9 kV en dedans de 60 secondes suivant l'ordre de démarrage. Cette période de 60 secondes comprend une période de 15 secondes pour le démarrage et la montée en vitesse du moteur diesel et une période de 45 secondes de fonctionnement sans charge. L'arbre de défaillance a modélisé cette période de 45 secondes, alors que la plupart des circuits en attente ou actifs en phase de démarrage sont en fonctionnement en parallèle avec les équipements actionnés par le groupe électrogène.

Selon Reyraud (1986), la montée en vitesse est particulièrement rapide pour un groupe électrogène, soit environ trois secondes pour un groupe de 1000 kWe et huit secondes pour un groupe de 4000 kWe. La pleine charge est atteinte entre 20 et 40 secondes après ce qu'il considère le top de démarrage, soit le temps auquel le groupe

tourne près de sa vitesse nominale. Dans cette étude, la période de 15 secondes pour la montée en vitesse est jugée plus réaliste pour le type de moteur diesel considéré. Pour cette période de 15 secondes, la probabilité de défaillance du groupe sera estimée à  $1,46 \times 10^{-3}$ , soit la même que celle de l'étude de Reyraud pour la période de démarrage.

La modélisation de la fiabilité au démarrage du groupe électrogène a été choisie car il a été démontré, notamment dans Reyraud (1986) et le rapport NUREG/CR-4590 (1987), que cette phase de fonctionnement est particulièrement critique. Entre autres, les contraintes thermiques et mécaniques subies par les divers équipements sont d'une amplitude nettement plus importante durant cette phase de démarrage que pendant le fonctionnement en régime établi ou pendant la période d'attente. De plus, le démarrage du groupe électrogène constitue, en soi, un transitoire d'exploitation, de la phase d'attente à la phase de fonctionnement, qui s'échelonne sur une période de temps relativement longue, pouvant aller jusqu'à quelques minutes. Ce transitoire d'opération est reconnu comme étant une cause prépondérante dans le vieillissement des groupes électrogènes dans le monde.

Certains événements externes au groupe électrogène ont aussi été pris en considération, tels que le mal fonctionnement du système de chauffage de la salle des groupes électrogènes, la probabilité d'un incendie dans cette même salle et la probabilité d'une fuite de chlore en provenance d'un voisin industriel de la centrale nucléaire

Gentilly-2. Ces événements ont été jugés a priori suffisamment importants compte tenu de leur impact potentiel sur la fiabilité du groupe électrogène.

La figure 5 illustre l'arbre de défaillance simplifié montrant la logique structurale de l'arbre détaillé. Déjà, sans même consulter les résultats quantitatifs, on s'aperçoit que de nombreux événements uniques, appelés singletons, peuvent causer la défaillance du système.

Par exemple, le relais 27X, servant à la détection de la perte de tension de catégorie IV et se trouvant par le fait même à être l'instigateur du signal de départ du groupe, est visiblement critique car aucune redondance n'existe à ce niveau. Ceci s'explique par le fait que cet élément est très fiable et que, advenant sa défaillance, d'autres indications sont disponibles à la salle de commande principale pour les opérateurs qui peuvent alors démarrer le groupe à distance. S'il advenait, malencontreusement, qu'une panne afflige la commande à distance, alors on peut toujours démarrer le groupe localement. Cet exemple démontre à quel point la modélisation par arbre de défaillance est dépendante des hypothèses de l'analyse. Dans le cas présent, les deux dernières possibilités de redémarrage n'ont pas été prises en compte car il est improbable que le groupe démarre, monte en vitesse et se couple à la barre en dedans de 60 secondes suivant une perte de catégorie IV, si une action de l'opérateur est nécessaire suite à la panne de la logique de démarrage automatique.

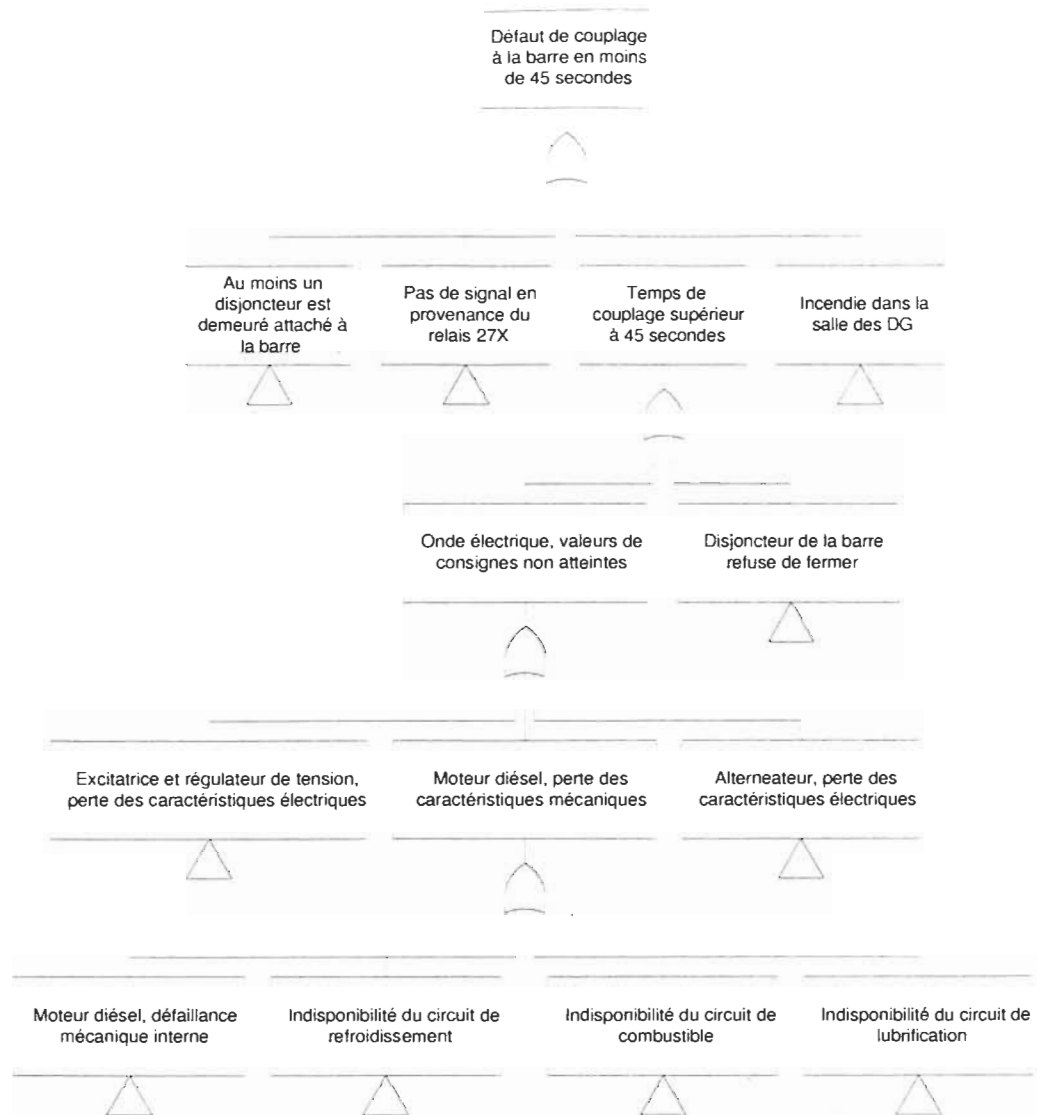


Figure 5. Arbre de défaillance simplifié du groupe électrogène en phase de démarrage.

### Les facteurs d'importance

Les facteurs d'importance sont utilisés pour quantifier la contribution relative de chacun des événements primaires par rapport à la probabilité d'occurrence de l'événement de tête. Dans le cadre de cette étude, les facteurs d'importance calculés sont ceux fournis par le logiciel CAFTA, à savoir Fussell-Vesely, Birnbaum, le Risk Re-



duction Worth (RRW) et le Risk Achievement Worth (RAW). Les facteurs d'importance permettent d'apporter une réponse à l'une des deux questions suivantes :

1. Sachant que le système est en panne, quel élément doit-on réparer en priorité pour rétablir la fonction ?
2. Sachant que l'on cherche à augmenter la fiabilité du système, quel élément doit-on améliorer en priorité ?

Le facteur d'importance de Fussell-Vesely est une mesure de la contribution d'un élément à la défaillance du système. C'est en quelque sorte une mesure du risque de voir le système tomber en panne par l'entremise de l'élément visé. La définition mathématique du facteur d'importance de Fussell-Vesely (FV) est la suivante :

$$(4,1) \quad FV = \frac{P(T) - P(T / E = 0)}{P(T)}$$

où  $P(T)$  : Probabilité d'occurrence de l'événement de tête

$P(T/E=0)$  : Probabilité conditionnelle d'occurrence de l'événement de tête étant donné que la probabilité d'occurrence de l'événement primaire E est nulle

Le facteur d'importance de Birnbaum (BI) est une mesure de la différence de la valeur de la probabilité d'occurrence de l'événement de tête lorsque l'événement primaire E survient, c'est-à-dire lorsque  $P(E) = 1$ , par rapport à lorsqu'il ne survient pas.

Son expression est donnée par l'équation (4,2).

$$(4,2) \quad BI = P(T / E = 1) - P(T / E = 0)$$

où  $P(T/E=1)$  : Probabilité conditionnelle d'occurrence de l'événement de tête étant donné que la probabilité d'occurrence de l'événement primaire E est égale à l'unité

Le facteur d'importance RAW est une mesure de l'accroissement de la probabilité d'occurrence de l'événement de tête lorsque l'on considère que l'élément E est indisponible. Il est exprimé par :

$$(4,3) \quad RAW = \frac{P(T / E = 1)}{P(T)}$$

Enfin, le facteur d'importance RRW est une mesure de la réduction de la probabilité d'occurrence de l'événement de tête lorsque l'on considère que l'élément primaire E est totalement disponible. Son équation est donnée à l'équation (4,4).

$$(4,4) \quad RRW = \frac{P(T)}{P(T / E = 0)}$$

Les facteurs d'importance procurent une information relative sur l'importance d'un élément à l'intérieur d'un système. C'est pourquoi il est recommandé de les utiliser de façon complémentaire afin d'éviter des erreurs de jugement. Intrinsèquement, la fiabilité d'un système est grandement dépendante de sa conception, c'est-à-dire

qu'elle est reliée à la fiabilité de chacun de ses composants et des redondances existantes au niveau des diverses fonctions importantes.

Le cas du groupe électrogène est un excellent exemple à l'effet que les facteurs d'importance se doivent d'être utilisés avec précaution, étant donné la conception même de ce dernier. On remarquera que les principales fonctions nécessaires au fonctionnement du groupe électrogène, tels que les circuits de refroidissement, de lubrification et de combustible, ne sont pas l'objet de redondance. Ainsi, la perte de la pompe principale du circuit de refroidissement entraîne irrémédiablement la panne du groupe électrogène. Ceci fait en sorte qu'une multitude de défaillances simples de composants peuvent entraîner la panne du système, comme on peut le constater avec l'arbre de défaillance et les coupes minimales. Ceci est aussi reflété dans le calcul des facteurs d'importance. Les facteurs d'importance sont à l'annexe E.

#### Les contributeurs majeurs

On remarque que plus de 120 événements ont un indice RAW supérieur ou égal à  $6,94 \times 10^5$ . Ceci signifie que l'occurrence d'un seul de ces événements accroît la probabilité de défaillance du système au minimum de ce multiple. Cependant, lorsque l'on cherche à connaître l'endroit où porter des efforts en vue d'augmenter la fiabilité du système, l'indice RRW nous procure une information plus précise. En effet, l'indice RRW vient même confirmer les résultats issus des coupes minimales en identifiant les équipements suivants comme étant à la fois des contributeurs importants à la défaillance du groupe électrogène diesel et ceux sur lesquels des efforts devraient

être portés pour améliorer leur fiabilité :

1. Circuit d'enclenchement et d'interposition
2. L'alternateur
3. Le relais 27
4. Le disjoncteur de la barre
5. La logique de démarrage du groupe

Les équipements présentés ci-dessus affichent un indice RRW supérieur ou égal à 1,034. De plus, ils affichent tous un facteur d'importance RAW supérieur ou égal à  $6,94 \times 10^5$ . Ceci signifie qu'une amélioration notable de la fiabilité d'un seul de ces éléments entraînera une augmentation de la fiabilité du système de ce multiple. Ce faible indice RRW est aussi un bon indicateur de la robustesse du système. Une amélioration notable de la fiabilité de chacun des contributeurs majeurs identifiés n'aura qu'un faible impact sur la fiabilité de l'ensemble.

#### Évaluation quantitative de l'arbre de défaillance

Une évaluation de l'arbre de défaillance, à l'aide d'une étude de sensibilité, a été faite pour obtenir la fiabilité au démarrage du groupe. Cette étude de sensibilité a consisté à faire varier les probabilités de découvertes des défaillances détectées lors des essais et des entretiens préventifs afin de vérifier la robustesse du modèle. L'étude de sensibilité a été réalisée avec le logiciel UNCERT, version 1.0b.

Il y a eu, en tout, cinq simulations. Pour chacune, on a considéré que la distribution des probabilités de découvertes obéissait à une loi normale. Cette loi a été choisie car l'on considère que les périodicités auxquelles sont faites les essais et les entretiens préventifs obéissent à la loi normale. L'algorithme de calcul utilisé a été la méthode de Monte-Carlo avec 500 itérations. La méthode de la somme a été choisie pour la propagation du calcul des probabilités d'occurrence des coupes minimales. Son expression est donnée par l'équation (4,5).

$$(4,5) \quad P(T) = \sum_i P_i$$

où  $P(T)$  : probabilité d'occurrence de l'événement de tête.

$P_i$  : probabilité d'occurrence de la coupe minimale  $i$ .

Chaque simulation s'est vue octroyée une valeur unique pour les probabilités de découvertes. Ces valeurs ont été établies à 75% pour la simulation #1, 80% pour la simulation #2, 85% pour la simulation #3, 90% pour la simulation #4 et 95% pour la simulation #5. Les distributions en fréquence de la probabilité de défaillance, pour la mission de 45 secondes, sont illustrées, pour chacune des simulations respectivement, aux figures 6 à 10 inclusivement. On notera que les taux de défaillance des composants n'ont pas faits l'objet de calculs d'incertitudes. Les données d'exploitation des groupes électrogènes, concernant les durées d'indisponibilité lors des entretiens préventifs, sont incluses à l'annexe G.

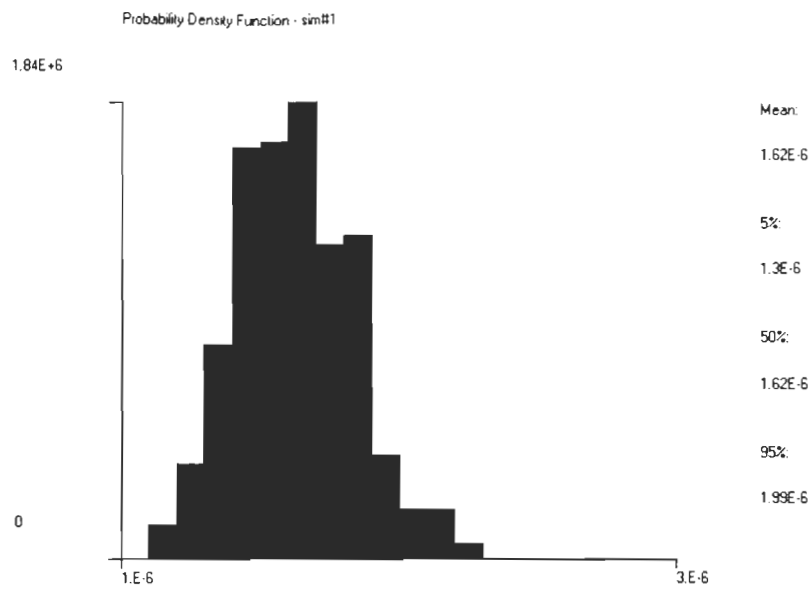


Figure 6. Distribution en fréquences de la simulation #1.

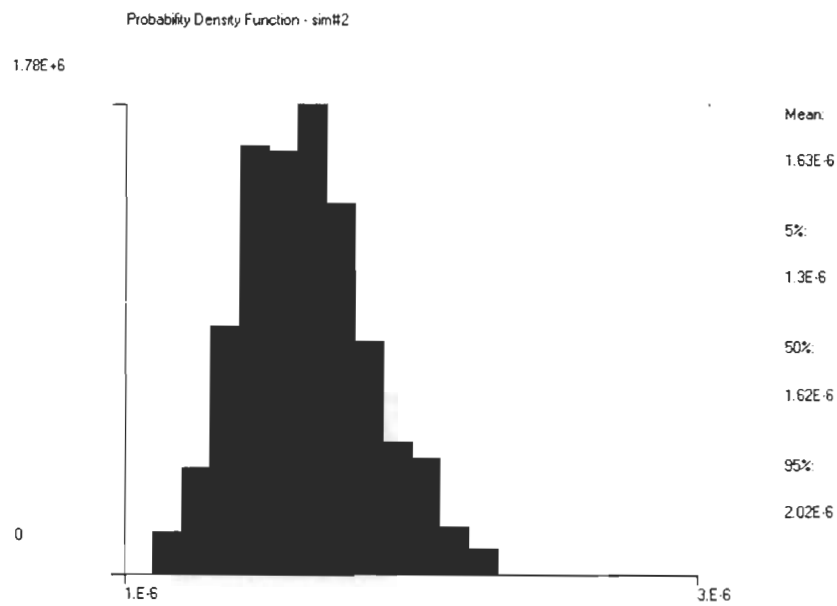


Figure 7. Distribution en fréquences de la simulation #2.

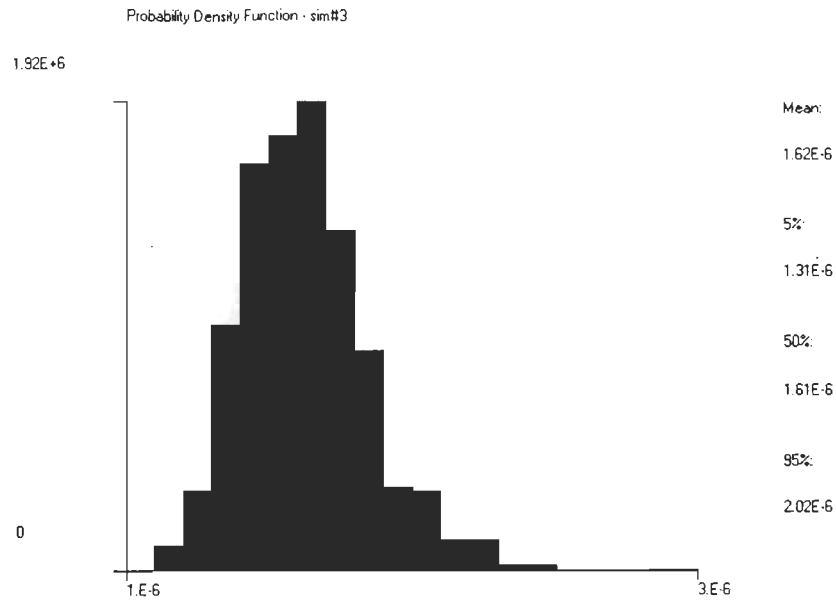


Figure 8. Distribution en fréquences de la simulation #3.

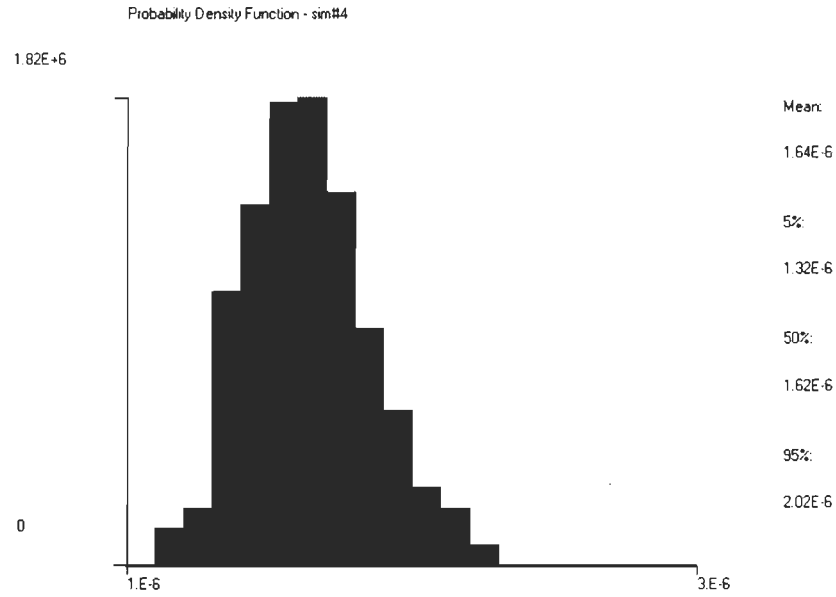


Figure 9. Distribution en fréquences de la simulation #4.

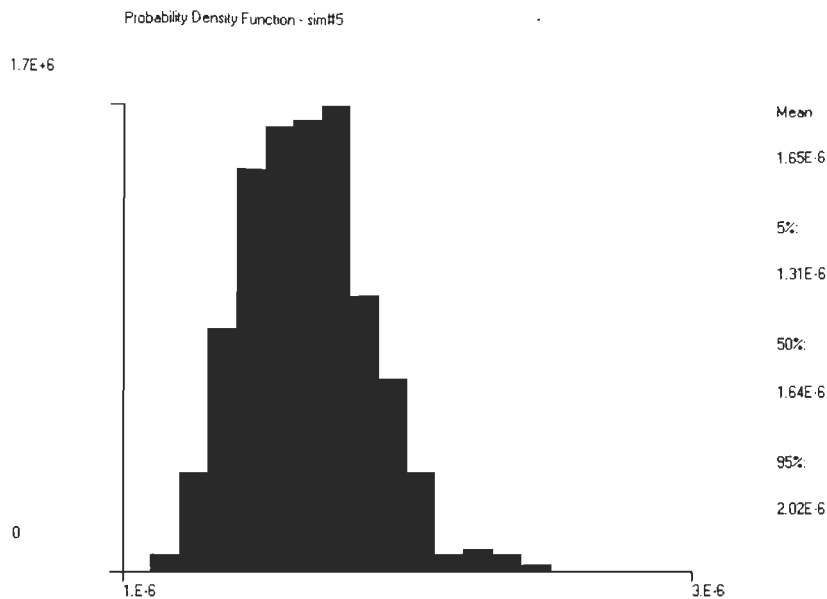


Figure 10. Distribution en fréquences de la simulation #5.

Brièvement, les graphiques des figures 6 à 10 font apparaître une probabilité d'occurrence croissante, passant de  $1,62 \times 10^{-6}$  à  $1,65 \times 10^{-6}$ . Ce résultat s'explique logiquement par le fait que l'augmentation des probabilités de découverte d'une défaillance sur les équipements principaux accroît la certitude que nous avons quant à la probabilité de défaillance de ces derniers. Des analyses plus poussées, au niveau des mécanismes de défaillance des composants de chacun de ces équipements, devraient être menées pour appuyer ces résultats. Cette incursion est donc la prémisse à un nouvel axe de recherche qui ne sera pas développé plus avant dans la présente étude.

La valeur moyenne de la probabilité de défaillance, pour la mission de 45 secondes, est de  $1,63 \times 10^{-6}$ . On remarquera qu'il s'agit d'une différence de trois ordres



de grandeur par rapport à la probabilité de défaillance de la mission de 15 secondes, qui est de  $1,46 \times 10^{-3}$ .

Ce résultat signifie que la maintenance préventive doit d'abord viser les modes de défaillances rencontrés lors des premières secondes du démarrage du groupe. Le bon fonctionnement des circuits en attente, tels que les circuits de pré-chauffage et de pré-lubrification, se doit d'être assuré par la mise en place d'activités permettant la détection de toute dégradation, qui à la longue, est susceptible d'entraîner la panne du système.

Finalement, on calcule la probabilité de défaillance au démarrage des groupes électrogènes, pour la mission de 60 secondes, en additionnant les probabilités données ci-haut. Ceci nous donne approximativement  $1,46 \times 10^{-3}$ . Autrement dit, la fiabilité au démarrage du groupe électrogène, pour un temps de démarrage de 60 secondes, est de 99,85%. Ce résultat numérique, particulièrement élevé, n'est probablement pas représentatif de la fiabilité réelle des groupes électrogènes diesel de la catégorie III. L'utilisation des données du site pourrait permettre d'obtenir une valeur plus réaliste.

#### Conclusion sur l'utilisation de l'arbre de défaillance

L'arbre de défaillance s'est révélé très utile par la complémentarité des informations qu'il procure par rapport aux résultats de l'AMDE. En fait, les principaux apports de l'arbre de défaillance sont :

1. l'identification des contributeurs majeurs à la défaillance du système par l'entremise des coupes minimales et des facteurs d'importance;
2. une évaluation quantitative de la performance du système pour une mission donnée;
3. la possibilité d'effectuer des simulations et des études de sensibilité pour mesurer l'impact des changements apportés à un ou des composants par rapport à la mission du système;
4. une représentation graphique simple facilitant son utilisation par des non-spécialistes.

En conclusion, l'arbre de défaillance s'est révélé être un précieux outil d'aide à la décision. La poursuite des travaux devrait inclure les données de fiabilité du site, quelques études de sensibilité à partir des distributions des paramètres de fiabilité des équipements, ainsi qu'un nouvel arbre de défaillance dans le but de modéliser la disponibilité du système. Cet arbre serait plus à même de modéliser l'effet de la variation des fréquences d'essais et d'entretien préventif sur la disponibilité du système, sous réserve de la disponibilité de données numériques de qualité.

#### Révision du programme de maintenance préventive

Ceci constitue la dernière étape réalisée dans le cadre de cette étude. Après les résultats obtenus de l'AMDE et de l'arbre de défaillance, une recherche systématique des pratiques et des expériences de l'industrie dans l'exploitation des groupes électrogènes diesel a été entreprise. Les équipements considérés en premier lieu, pour cette révision du programme de maintenance préventive, sont ceux qui ont été identifiés précédemment comme

étant les plus gros contributeurs à la défaillance du groupe et ceux ayant un impact significatifs sur sa fiabilité au démarrage.

Ce travail débute par un sommaire des programmes d'entretiens préventifs et d'essais périodiques. Ces sommaires, inclus aux annexes H et I respectivement, présentent les numéros de fiches d'entretien ou d'essais et le but de chaque activité.

Les groupes électrogènes utilisés dans une centrale nucléaire, qu'ils s'agissent de moteurs diesel ou de turbines à gaz, sont souvent soumis à des essais périodiques engagés auprès d'organismes de réglementation, telle que la Commission de contrôle de l'énergie atomique du Canada. Ceci fait en sorte que chaque centrale nucléaire met en place un programme d'essais périodiques élaboré. Bien que l'on sache que les essais de mise en marche de si gros équipements résultent en leur dégradation au fil du temps, ces essais sont néanmoins indispensables pour les raisons suivantes :

1. Vérifier les performances et le bon fonctionnement du groupe électrogène;
2. Déceler les composants défaillants;
3. Identifier de nouveaux modes et mécanismes de défaillances qui sont susceptibles de se développer avec le vieillissement du système.

#### Revue du REX industriel

En vue de réviser efficacement le programme de maintenance préventive, une revue du retour d'expérience (REX) industriel se doit d'être faite. Ce REX industriel consiste généralement à la consultation d'experts industriels et de l'historique industriel de l'exploitation d'équipements similaires. Dans le cadre de la présente étude, ce REX industriel pro-

viendra principalement des rapports suivants, que le lecteur retrouvera en bibliographie :

1. NUREG CR-4590 "Aging of Nuclear Station Diesel Generators : Evaluation of Operating and Expert Experience", 1987.
2. EPRI NP-5924 "Surveillance, Monitoring, and Diagnostic Techniques to Improve Diesel Generator Reliability", 1988.
3. NUREG CR-5078 "A Reliability Program for Emergency Diesel Generators at Nuclear Power Plants", 1988.

Le rapport NUREG CR-4590 décrit principalement les causes de défaillance et les sous-systèmes affectés. Ce rapport se base à la fois sur un échantillon aléatoire de 500 défaillances survenues sur les groupes électrogènes aux Etats-Unis et sur une consultation tenue avec des experts.

Complémentaire à ce dernier, le rapport EPRI NP-5924 prend en compte un plus grand nombre d'observations de défaillances de groupes électrogènes américains. Ses principaux résultats sont l'obtention de taux de défaillance et de temps moyens d'indisponibilité pour tous les sous-systèmes et équipements d'un groupe ainsi qu'un ensemble de recommandations visant des changements au niveau de la conception, des pratiques d'exploitation, de la maintenance et du suivi de performance.

En dernier lieu, le rapport NUREG CR-5078 est un guide à l'établissement d'un programme d'assurance de la fiabilité pour les groupes électrogènes diesel dans les centrales

nucléaires. Ce rapport est utilisé afin d'harmoniser et de structurer les recommandations issues des rapports précédents dans le cadre de la révision du programme de maintenance préventive.

Étant donné le grand nombre d'études réalisées dans le monde portant sur l'évaluation de la fiabilité des groupes électrogènes diesel, il nous a été possible de recueillir une quantité appréciable d'informations pour l'amélioration du programme de maintenance préventive. Ce bagage de connaissances est dû à la fois à l'expérience d'exploitation des groupes électrogènes diesel acquise dans les centrales nucléaires ainsi qu'au savoir-faire industriel d'experts reconnus. Néanmoins, il est indiscutable que le recueil et l'analyse des données du site révéleront des particularités propres à l'opération, la surveillance et le maintien des groupes électrogènes et de ce fait, contribuera en toute fin à une réelle optimisation du programme de maintenance préventive.

#### Le programme révisé de maintenance préventive

Il est intéressant de noter que l'alternateur et le circuit de la logique de démarrage sont l'objets de recommandations dans le tableau 2. De plus, des éléments mécaniques importants, tels que les pompes des circuits du combustible, de refroidissement et de lubrification et le réservoir d'air comprimé sont aussi visés. Ces éléments sont importants pour le maintien de la fiabilité du groupe électrogène. Il convient de noter que les tâches recommandées visent spécifiquement à réduire, voire éliminer, l'occurrence de défaillances liées au vieillissement de ces composants. Des incidents récents survenus sur des groupes électrogènes diesel, notamment à la centrale nu-

cléaire de Bruce A d'Ontario Hydro(6), démontrent clairement que ces derniers sont de plus en plus soumis à de nouveaux mécanismes de dégradation associés au vieillissement. Il est clair qu'il faut, dès à présent, mettre en place des moyens efficaces de prévention pour contrer l'occurrence de telles défaillances.

Les contributeurs majeurs à la défaillance du système, identifiés à l'aide de l'arbre de défaillance, faisaient déjà l'objet d'attentions particulières lors des essais et de l'entretien préventif. L'assurance de la fiabilité et de la disponibilité de ces derniers est, par dessus tout, obtenue par le biais des nombreux dispositifs de mesure, d'alarmes et de protection et par les essais des groupes électrogènes à pleine charge. Entre autres, l'essai de 48 heures est, parmi les différents essais effectués, le plus représentatif de la mission la plus courante d'un groupe électrogène diesel de catégorie III, soit la fourniture d'une alimentation électrique en courant alternatif à 6,9 kV lors d'une perte de la catégorie IV pour une durée de trois jours. Un essai de ce type, d'une aussi longue durée, est peu fréquent dans l'industrie nucléaire d'après les rapports consultés dans le cadre de cette étude. Néanmoins, en ce qui concerne tous les essais des groupes électrogènes, il est recommandé que l'on procède à l'étude des effets d'une augmentation du délai lié au démarrage, à la synchronisation et à l'alimentation des charges essentielles. Ce délai est actuellement de 45 secondes et est considéré dans de récentes études comme étant un facteur important du vieillissement des groupes élec-

---

6 Ces incidents survenus à la centrale de Bruce A sont rapportés dans la note numéro 7088 du système IRS de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Elle fait mention de huit événements survenus de décembre 1996 à janvier 1997, sur les groupes électrogènes diesel de catégorie III de cette centrale.

trogènes diesel.

En plus des recommandations du tableau 2, la mise en place d'un programme spécifique de suivi de la fiabilité et de la performance des groupes électrogènes diesel devrait être envisagé. Ce programme(7) comporte un suivi systématique de la tendance des paramètres importants, telle que le niveau vibratoire ou les résultats des analyses d'huile, à l'aide de graphiques et de techniques statistiques. Ce programme renferme aussi les critères relatifs à l'exécution des essais en relation avec les objectifs de fiabilité et de disponibilité du système et de ses performances passées. Un exemple de ces critères est donné à l'annexe F, pour un objectif de fiabilité au démarrage de 95 %.

En résumé, la revue du programme de maintenance préventive, à la lumière des enseignements issus du REX industriel, a surtout démontré que les groupes électrogènes diesel sont de plus en plus affectés par de nouveaux mécanismes de dégradation engendrés par leur vieillissement. De nouvelles tâches et pratiques sont recommandées dans ce rapport en vertu de leurs apports pour contrer efficacement l'occurrence de défaillances liées à ce phénomène de vieillissement, actuellement observable dans l'industrie et qui est appelé à prendre de l'ampleur dans l'avenir.

---

7 Le rapport NUREG/CR-5078 (1988), cité en bibliographie, présente un tel programme.

Tableau 2

## Révision du programme de maintenance préventive

<u>Circuit ou équipement</u>	<u>Déficience observée</u>	<u>Correctif proposé</u>
Alternateur	Une vibration induite par le rotor pourrait ne pas être détectée avec les moyens disponibles à la centrale.	Procéder à un suivi régulier du niveau vibratoire du rotor de l'alternateur.
Circuit de démarrage à air comprimé	Un taux d'humidité élevé peut causer la corrosion du réservoir, de la tuyauterie, ou empêcher les vannes de démarrage d'ouvrir.	Installer une sonde hygrométrique reliée à une fenêtre d'alarme sur le réservoir d'air comprimé.
Échangeurs de chaleur du circuit de refroidissement	Il n'existe aucune activité de maintenance préventive pour le nettoyage des échangeurs de chaleur. Des incidents sont survenus dans l'industrie à cause d'échangeurs sales (arrêt du moteur sur haute température).	Ajouter une fiche d'entretien préventif concernant le nettoyage des échangeurs de chaleur du circuit de refroidissement.
Logique de démarrage	Des problèmes liés au vieillissement et affectant des circuits imprimés ont été observés dans l'industrie.	Vérifier systématiquement tous les circuits de logique et de commande.
Moteur diesel	Il est généralement recommandé de faire fonctionner le moteur diesel au moins une heure lors de tout essai prescrit et tout essai de requalification suivant une activité de maintenance (préventive et corrective), selon NUREG/CR-4590.	Faire fonctionner le moteur diesel au minimum une heure lors de chaque démarrage afin d'amoindrir les contraintes thermiques et la formation de carbone dans les chambres de combustion.
Motopompes électriques des circuits de combustible, de pré-lubrification et de pré-chauffage	La consignation périodique du niveau vibratoire de ces pompes permettrait de suivre l'évolution de leurs performances et d'agir préventivement suite à l'observation d'une possible dégradation.	Inspecter les motopompes électriques avec un accéléromètre portatif pour la mesure des vibrations et enregistrer les mesures.
Réservoirs de combustible	Possibilité de contamination biologique du combustible entraînant un bouchage du circuit ou un mal fonctionnement du moteur diesel.	Inclure au programme d'entretien préventif, une analyse régulière du carburant.



## CHAPITRE V

### LIMITES ET HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE

Ce chapitre décrit les limites et hypothèses de cette étude. Il est espéré que sa poursuite incorpore des modélisations et des analyses plus poussées afin d'approcher au plus près la réalité d'exploitation des groupes électrogènes diesel.

#### Exigences de conception

Les principales exigences de conception de la catégorie III sont:

1. Les groupes électrogènes doivent démarrer automatiquement, accélérer, se synchroniser et alimenter les charges, en considérant que la disponibilité d'un seul groupe doit être assurée dans l'espace de 45 secondes afin de réalimenter les auxiliaires des charges essentielles. Les autres charges doivent être alimentées durant les trois minutes suivants la perte de catégorie IV.

Toutefois, l'opérateur a toujours la possibilité de démarrer les groupes électrogènes diesel de secours et de restaurer manuellement l'énergie aux barres qui ont perdu leur alimentation électrique normale. Cette action est réalisée à partir de la salle de commande principale ou des panneaux de commande dans les salles des groupes électrogènes (un panneau par groupe).

2. À court terme, les groupes électrogènes sont capables de supporter un surplus de charge égal à 10% de leur capacité en service continu, durant 2 heures pour chaque période de 24 heures consécutives de fonctionnement.
3. L'alimentation électrique de catégorie III à une barre 6,9 kVc.a. est considérée disponible si au moins un groupe électrogène diesel de secours est disponible lors d'une panne de l'alimentation électrique normale à la barre.
4. Un groupe électrogène diesel de secours est considéré disponible s'il peut répondre aux automatismes de démarrage, de synchronisation, de prise de charge et possède une réserve minimale de carburant de 57 000 litres permettant un fonctionnement en continu d'au moins trois (3) jours.
5. Les charges de la catégorie III étant redondantes, elles sont reliées aux barres paires ou impaires de telle façon qu'une charge (à 100%) puisse être alimentée à partir d'une barre paire ou impaire.

#### Hypothèses d'exploitation

La catégorie III de relève est exploitée tel que spécifié dans le manuel d'exploitation du système, dans la Ligne de conduite pour l'exploitation (LCE) et dans les Procédures d'exploitation sur incidents.

Les articles de la LCE se rattachant à l'alimentation électrique de catégorie III sont les suivants:

a) "5.04: Disponibilité de l'alimentation électrique de catégorie III

La fonction d'alimentation électrique de catégorie III sera disponible afin de prendre la relève lors d'une perte partielle ou totale de la catégorie IV.

La fonction sera considérée disponible lorsqu'au moins un groupe électrogène diesel de secours par parité sera disponible."

b) "5.05: Indisponibilité des groupes électrogènes de catégorie III

Si un groupe électrogène diesel de secours devenait indisponible, les réparations et un essai démontrant sa disponibilité seront effectués dès que possible.

Si deux groupes électrogènes diesel de secours d'une même parité devenaient indisponibles, un groupe électrogène diesel de l'autre parité sera démarré, synchronisé et chargé. Il fonctionnera jusqu'à ce qu'un des groupes électrogènes diesel de secours hors-services redevienne disponible. Si l'indisponibilité devait dépasser 48 heures, le réacteur sera mis à l'arrêt critique très basse puissance, froid et dépressurisé.

Si les quatre groupes électrogènes diesel de secours devenaient indisponibles, le réacteur sera mis à l'arrêt à l'état critique très basse puissance, chaud et pressurisé. Si aucun groupe électrogène diesel de secours ne pouvait être rendu disponible en moins de huit heures, le réacteur sera placé à l'état critique très basse puissance, froid et dépressurisé.

L'indisponibilité volontaire d'un groupe électrogène diesel de secours pour entretien ne sera initiée que si les trois autres groupes électrogènes diesel sont disponibles."

### Hypothèses d'analyse

Les hypothèses d'analyse qui ont été prises en considération dans cette étude sont:

1. L'alimentation électrique de catégorie III, pour les charges essentielles seulement, est assurée par la disponibilité d'un groupe électrogène diesel de secours.
2. L'étude ne prend en compte que la situation en exploitation normale de la centrale (réacteur à 100% pleine puissance).
3. Les défaillances des composants surviennent de façon stochastiquement indépendantes, mais ne sont pas mutuellement exclusives (défaillances de cause commune).
4. Un composant défaillant est remis dans une condition semblable à celle prévalant à l'origine (hypothèse "aussi bon que neuf" ou "as good as new")
5. La défaillance du système de ventilation des salles T2-101 et T2-102 n'est pas considérée dans cette étude car l'opérateur, en cas de besoin, peut ouvrir les portes intérieures pour assurer une circulation d'air.
6. Les vannes pneumatiques pour le refroidissement des groupes électrogènes diesel de secours par le système ESR ouvrent sur perte d'alimentation en air d'instrumentation ("fail safe"). Pour cette raison, elles ne sont pas prises en compte dans cette étude.

7. Les vannes d'isolation manuelles se trouvant sur plusieurs circuits ne sont pas prises en compte, car ces dernières ne sont sollicitées que lors de travaux d'entretien, et ne sont pas soumises à des essais périodiques.
8. L'étude considère qu'il faut jusqu'à 60 secondes pour réalimenter la barre correspondante à un groupe électrogène diesel. Le réenclenchement de toutes les charges de la première séquence s'effectuant en dedans de 80 secondes suivant l'ordre de démarrage du groupe électrogène.
9. Les erreurs humaines ne sont pas prises en compte pour les raisons suivantes:
  - a) le démarrage des groupes électrogènes est automatique;
  - b) les pertes des alimentations électriques sont facilement identifiables ;
  - c) les procédures d'exploitation de la catégorie III sont claires;
  - d) les actions à prendre sont simples;
  - e) le niveau de formation de l'opérateur est adéquat;
  - f) le transfert par l'opérateur de l'alimentation électrique à une charge donnée peut être crédité 30 minutes après la perte de l'alimentation électrique à cette charge.

### Frontières du système

Le système constitué par le groupe électrogène diesel ne comprend pas les éléments suivants :

1. Le circuit d'eau de service recirculée (ESR) servant de source froide au circuit de refroidissement du groupe électrogène.
2. Les alimentations électriques (barre E, F et les autres) ne sont pas prises en compte. Seules sont considérées les alimentations électriques dédiées exclusivement au fonctionnement du groupe électrogène, telles que les batteries, le chargeur et l'ensemble de redresseurs nécessaires aux alimentations de 24 Vc.c. et 48 Vc.c. pour certaines logiques de commande, l'excitatrice et le démarreur électrique du moteur diesel du circuit d'air comprimé, etc. Par contre, les alimentations électriques, en remontant jusqu'au panneau d'alimentation des charges (fusibles et disjoncteurs), sont prises en compte dans l'AMDE et l'arbre de défaillance comme origine de défaillance.
3. Les charges de catégorie III.

## CHAPITRE VI

### CONCLUSION

Cette étude a présenté une méthodologie systématique pour l'analyse d'un système complexe en vue d'améliorer son programme de maintenance préventive. Cette méthodologie a été validée sur un groupe électrogène diesel du circuit d'alimentation électrique de catégorie III de la centrale nucléaire Gentilly-2 d'Hydro-Québec. La méthodologie proposée s'articule autour de cinq étapes et son cheminement est itératif, afin de profiter des enseignements et des résultats procurés par chacune des analyses faites. Les étapes de cette méthodologie sont :

1. L'analyse fonctionnelle du système.
2. L'analyse des modes de défaillance et de leurs effets.
3. La modélisation à l'aide de l'arbre de défaillance.
4. La revue du programme de maintenance préventive ainsi que des pratiques et des expériences vécues par l'industrie.
5. La modélisation et la simulation des modifications proposées au programme de maintenance préventive.

L'analyse fonctionnelle du groupe électrogène a permis d'en identifier chacune des fonctions internes importantes ainsi que les sous-systèmes associés par l'entremise du diagramme fonctionnel. Ce faisant, il a été possible par la suite de regrouper les équipements faisant partie du groupe électrogène à l'intérieur des ensembles fonctionnels créés par les sous-systèmes. Ceci a été réalisé à l'aide de l'arborescence matérielle qui résulte en une structure arborescente de tout le système, c'est-à-dire du groupe électrogène vers les différents circuits ou sous-systèmes fonctionnels qui le composent et de là vers les équipements nécessaires à la réalisation de ces fonctions internes. Cette structure arborescente est par la suite très utile lors de la construction de l'arbre de défaillance.

L'analyse des modes de défaillance et de leurs effets, ou encore AMDE, est une technique inductive d'analyse d'un système. L'AMDE requiert une bonne connaissance du fonctionnement du système étudié, et c'est la raison pour laquelle elle est réalisée suite à l'analyse fonctionnelle. L'AMDE vise à identifier les modes de défaillance potentiels de chacun des équipements, les causes de ces modes de défaillance, leurs conséquences sur le système d'intérêt et, enfin, les moyens de détection ou de prévention existants ou recommandés afin de réduire la fréquence et l'impact de ces défaillances.

Dans le cadre de cette étude, l'AMDE a été utilisée principalement pour déterminer les causes de défaillance ainsi que les moyens de détection existants en vue de réaliser, par la suite, un arbre de défaillance. L'incorporation éventuelle de l'historique d'exploitation des groupes électrogènes dans cette AMDE amènera certainement de nouveaux modes potentiels de défaillance et des conclusions beaucoup plus pertinentes vis à vis leur exploita-



tion. On note que l'AMDE réalisée est en fait une analyse de la conception du système qui a reposé sur la consultation des schémas fonctionnels et des plans et devis d'ingénierie.

La modélisation de la fiabilité au démarrage du groupe électrogène à l'aide de l'arbre de défaillance s'est imposée du fait que l'objectif posé de fiabilité au démarrage pour ce système est très contraignant. Cet objectif, fixé à 95 %, requiert un programme adapté de maintenance préventive. Il vise à s'assurer que la plus grande proportion possible des modes de défaillance du système soit couverte. Plus cette proportion est grande, plus le programme de maintenance préventive est efficace et donc plus pertinent.

Les principaux résultats issus de l'arbre de défaillance sont l'identification des contributeurs majeurs à la défaillance du système et la probabilité de défaillance du groupe électrogène au démarrage, pour la mission de réalimentation de la barre à 6,9 kV en courant alternatif en moins de 60 secondes. Les cinq plus importants contributeurs à la défaillance du groupe électrogène, identifiés par l'entremise des coupes minimales et des facteurs d'importance, sont les suivants :

1. Circuit d'enclenchement et d'interposition
2. L'alternateur
3. Le relais 27
4. Le disjoncteur de la barre
5. La logique de démarrage du groupe

Pour sa part, la fiabilité au démarrage, évaluée à 99,85%, est jugée non-représentative de la fiabilité observée des groupes électrogènes diesel de catégorie III de Gentilly-2. L'utilisation de données génériques est la cause principale de ce résultat et l'on convient que l'apport des données de fiabilité du site devrait permettre de corriger cette lacune. Il serait intéressant aussi de comparer l'utilisation de l'arbre de défaillance par rapport à d'autres méthodes de modélisation, telles que les chaînes de Markov et les réseaux de Petri.

La revue du programme de maintenance préventive ainsi que des pratiques et des expériences vécues par l'industrie a commandé une recherche bibliographique importante.

La revue du REX industriel a soulevé le fait que les groupes électrogènes diesel, dans le monde, sont sujets à des mécanismes de dégradation liés à leur vieillissement. Ceci est d'autant plus préoccupant que ces mécanismes de dégradation entraînent l'apparition de nouveaux modes de défaillance contre lesquels les programmes de maintenance préventive sont souvent inefficaces. Il est donc proposé de procéder à l'amélioration de ces programmes par la modification de certaines pratiques et l'ajout de quelques tâches. On recommande aussi la mise en place d'un programme de suivi de la fiabilité et des performances du groupe électrogène. Ce programme comporte un suivi systématique de la tendance des paramètres importants à l'aide de graphiques et de techniques statistiques. Ce programme renferme aussi les critères relatifs à l'exécution des essais en relation avec les objectifs de fiabilité et de disponibilité du système et de ses performances passées.

Finalement, la méthodologie développée dans le cadre de ce projet a été appliquée avec succès à un système réel. Les perspectives pour la poursuite du travail sont nombreu-

ses et l'application de cette méthodologie dans les industries nucléaires et classiques est prometteuse. Sa grande qualité réside dans le fait qu'elle procure une approche systématique et intégrée au travers d'un ensemble de techniques d'analyses et de modélisations éprouvées.

### Recommandations

La poursuite de ce travail, afin d'évaluer efficacement l'impact des changements proposés, devrait inclure les données observées des quatre groupes électrogènes diesel de Gentilly-2. Ces données seront incorporées dans l'AMDE, sous forme de défauts observés, et dans l'arbre de défaillance, sous forme de taux de défaillance.

La modélisation de la fiabilité et de la disponibilité du groupe électrogène à l'aide d'autres techniques que celle de l'arbre de défaillance, comme les réseaux de Petri ou les chaînes de Markov, pourrait être envisagée. La comparaison des efforts consentis et des résultats obtenus de chacune de ces techniques servira à en démontrer les forces et les faiblesses.

Une étude détaillée des mécanismes de défaillance affectant les principaux équipements du système, combinée à la collecte des données observées du site, permettra d'affiner l'artifice de modélisation quant à la probabilité de découverte des défaillances. Cet ajout à la présente étude est, en soi, un nouvel axe de recherche qui ne demande qu'à être exploré plus avant.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Electric Power Research Institute. Surveillance, Monitoring, and Diagnostic Techniques to Improve Diesel Generator Reliability. Rapport EPRI NP-5924, 1988.
- [2] Electric Power Research Institute et Science Applications International Corporation. CAFTA for Windows - Fault Tree Analysis System version 3.2 - User's manual, 1996.
- [3] Engqvist, A. et Mankamo, T. Test Scheme Rearrangement for Diesel Generators at Forsmark 1/2. PSA'89 International Topical Meeting on Probability, Reliability and Safety Assessment, Pittsburgh, 1989.
- [4] Hirschberg S. & Pulkkinen, U. Common-Cause Failure Data: Experience from Diesel Generator Studies. Nuclear Safety, 1985, Vol. 26, No. 3.
- [5] Hoopingarner, K.R. & Zaloudek, F.R.. Safety Implications of Diesel Generator Ageing. Nuclear Safety, 1990, Vol. 31, No.4.
- [6] Hussein, A.A., & al.. Unavailability of Redundant Diesel Generators in Nuclear Power Plants. Reliability Engineering, 1982, 3.
- [7] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Standard Periodic Testing of Diesel-Generator Units Applied as Standby Power Supplies in Nuclear Power Generating Station. ANSI/IEEE Std 749-1983, 1983.
- [8] Institute of Nuclear Power Operations. Plant Predictive Maintenance. Rapport INPO 89-009, 1989.

- [9] Lannoy, A.. Analyse quantitative et utilité du retour d'expérience pour la maintenance des matériels et la sécurité. Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, Editions Eyrolles, 1996.
- [10] Magnon B., L'Henoret, J., & Reyraud, Y. Reliability of Stand-by Diesel Generator Sets in Nuclear Plants. IEE Conf. Publ., février 1977, 148.
- [11] Mahon, L.L.J. Diesel Generator Handbook. Butterworth-Heinemann Ltd, 1992.
- [12] Mankamo, T. & Pulkkinen, U. Dependent Failures of Diesel Generators. Nuclear Safety, 1982, Vol. 23, No. 1.
- [13] McCall, J.J. Maintenance Policies for Stochastically Failing Equipment : A Survey. Management Science, 1965, Vol. 11, No. 5.
- [14] Mercier, J.-P. La maintenance des centrales nucléaires. Editions Kirk, 1992.
- [15] Reyraud, Y. De la fiabilité à la maintenance des groupes de secours dans les centrales nucléaires. Entropie, 1986, 128.
- [16] U.S. Department of Defence. Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. MIL-STD-1629A, 1980.
- [17] U.S. Nuclear Regulatory Commission. Ageing of Nuclear Station Diesel Generators: Evaluation of Operating and Expert Experience. Rapport NUREG/CR-4590, Vol. 1 et 2, 1987.
- [18] U.S. Nuclear Regulatory Commission. A Reliability Program for Emergency Diesel Generators at Nuclear Power Plants. Rapport NUREG/CR-5078, Vol.1 et 2, 1988.
- [19] U.S. Nuclear Regulatory Commission. Enhancement of on-site Emergency Diesel Generator Reliability. Rapport NUREG/CR-0660, 1979.

- [20] U.S. Nuclear Regulatory Commission. Fault Tree Handbook. Rapport NUREG-0492, 1981.
- [21] U.S. Nuclear Regulatory Commission. PRA Procedures Guide. Rapport NUREG CR-2300, Vol. 1 et 2, 1983.
- [22] Vesely, W.E., Uryasev, S.P. & Samanta, P.K. Failure of emergency diesel generators: a population analysis using empirical Bayes methods. Reliability Engineering and System Safety, 1994, Vol. 46.
- [23] Winfield, D.J. Long Term Reliability Analysis of Standby Diesel Generators. Reliability Engineering and System Safety, 1988, 21.
- [24] Winfield, D.J. & McCauley, G.M. CRL Research Reactor Diesel Generator Reliability Study 1960-1992. Rapport AECL-9387, juillet 1994.

## ANNEXE A

### Fiche technique du groupe électrogène et des alimentations électriques

---

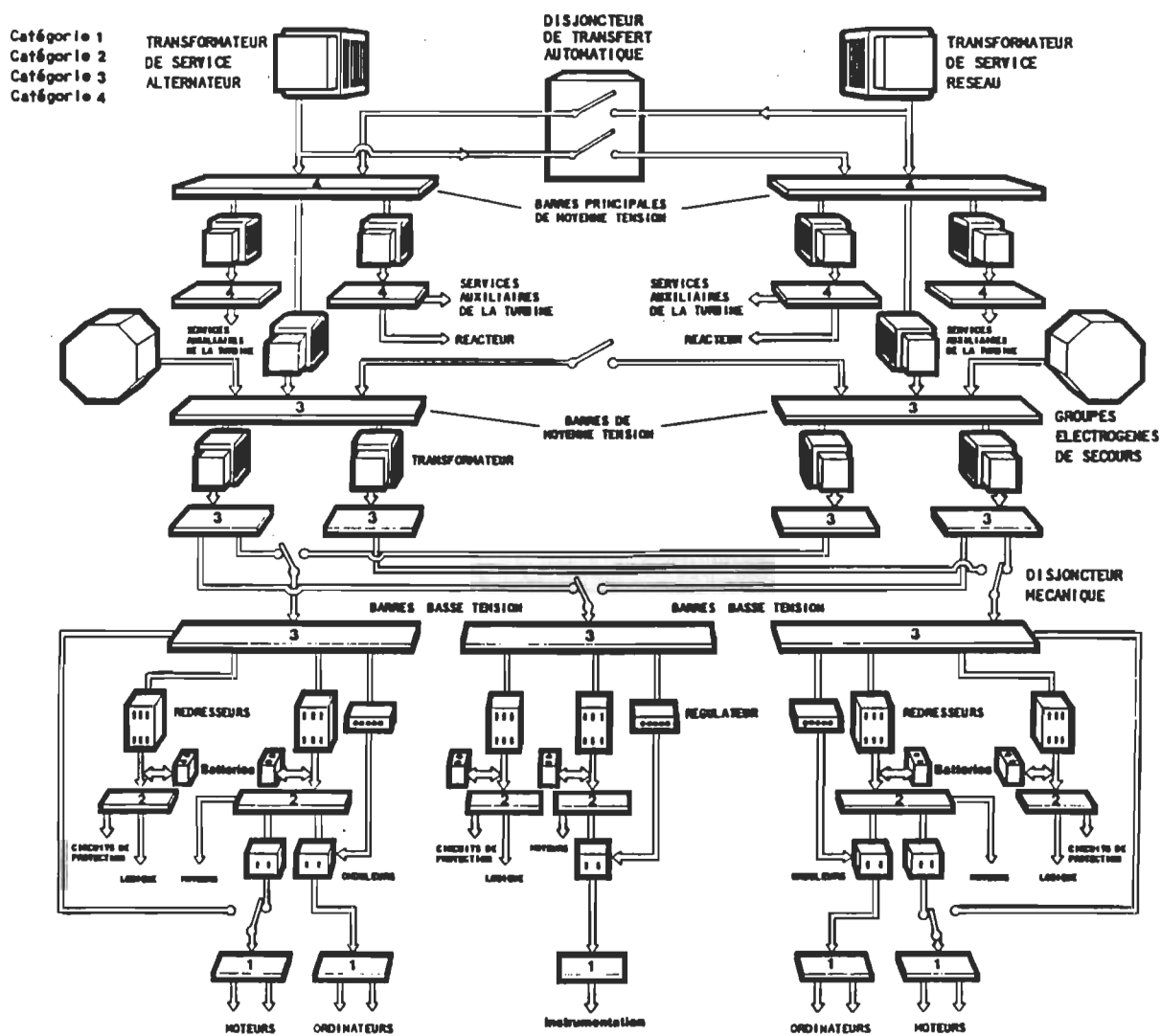
#### Caractéristiques techniques

---

Alimentations électriques de catégorie III :	6,9 kV c.a., 3 phases, 60 Hz 600 V c.a., 3 ph., 3 fils, 60 Hz 600 / 347 V c.a., 3 ph., 4 fils, 60Hz 208 / 120 V c.a., 3 ph., 4 fils, 60 Hz
Réservoirs de carburant	
Réservoir journalier	2273 litres
Réservoir extérieur	90 920 litres
Moteur diesel	
Type	Moteur diesel 4 temps, 18 cyl. en V
Vitesse nominale	900 RPM
Système de carburation	Injecteur méc. et turbo-compresseur
Régulateur de vitesse	Electronique
Génératrice	
Type	6,9 kV, 60 Hz, 900 RPM, directement ac-couplé au moteur diesel
Puissance nominale	2500 kW
Facteur de puissance	0,8
Intensité de pleine charge du stator	262 A (à 3125 kVA)

---

## ANNEXE A (suite)

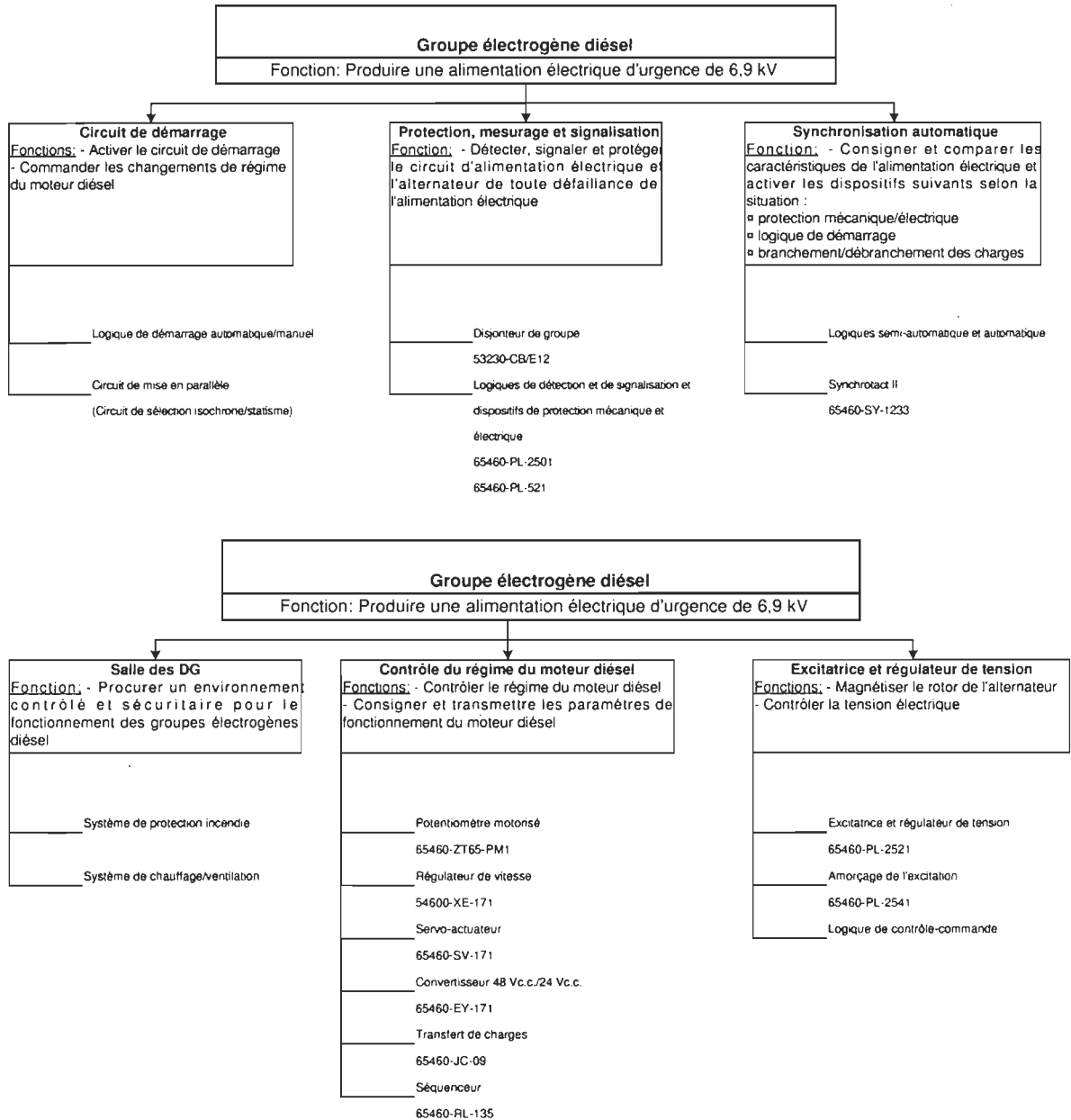


NOTE: Extrait du document PGE-530, "Description technique abrégée centrale nucléaire CANDU", Hydro-Québec.

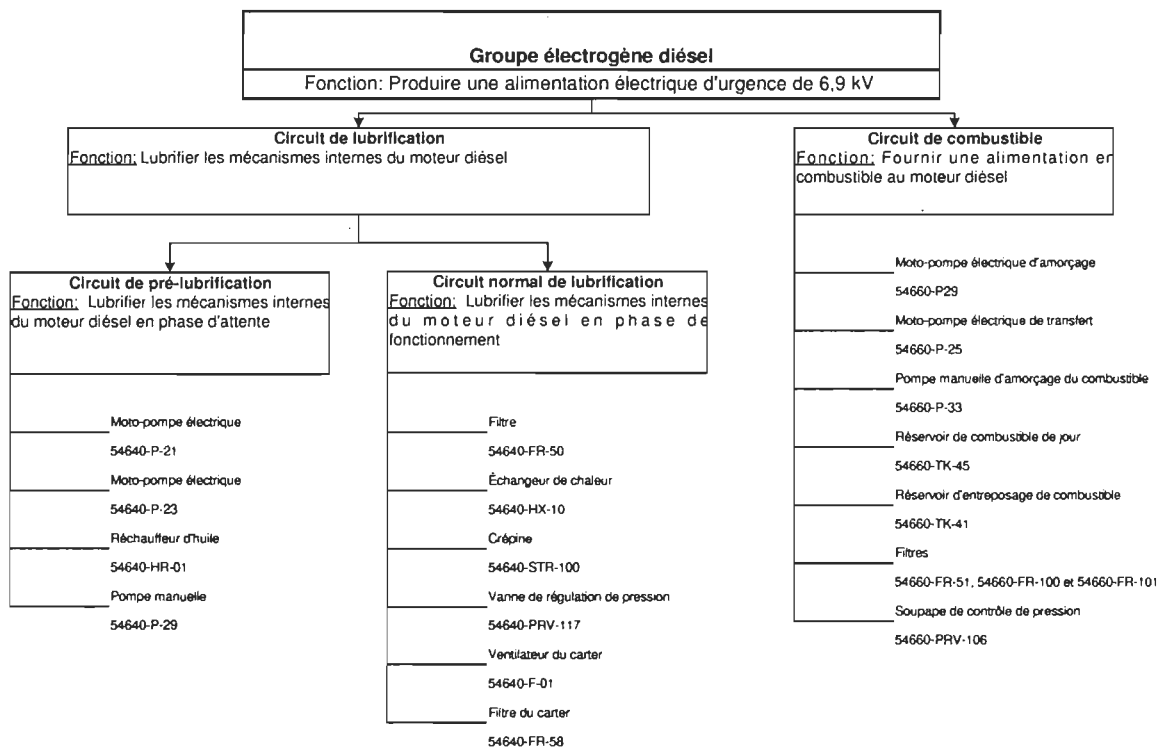
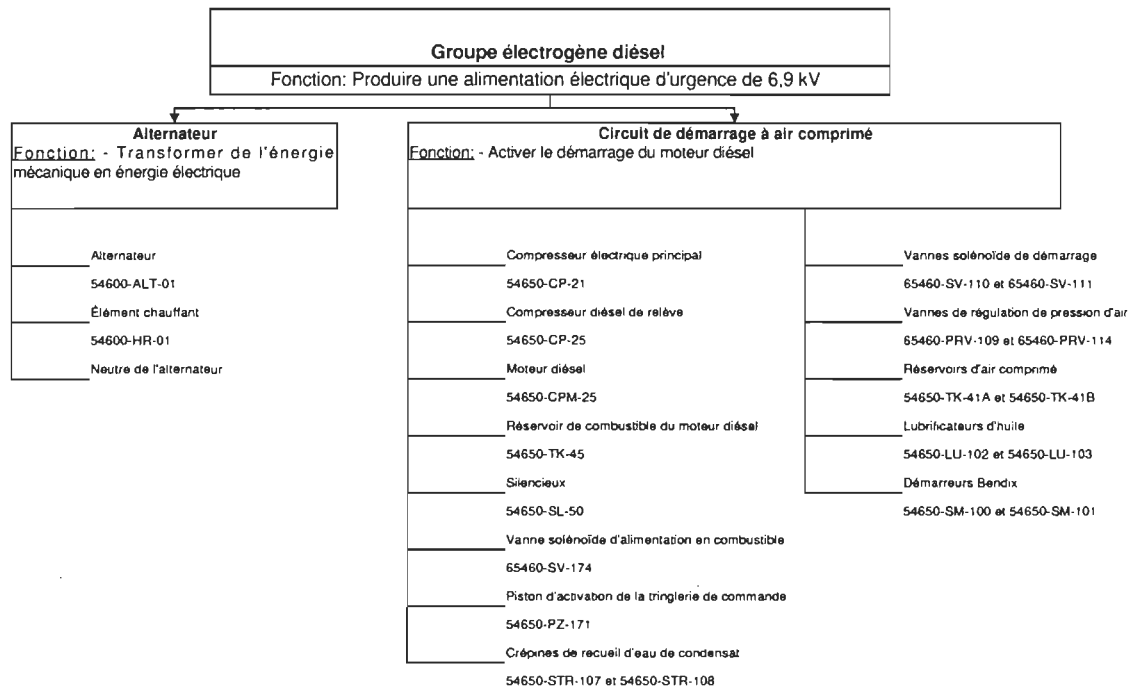


## ANNEXE B

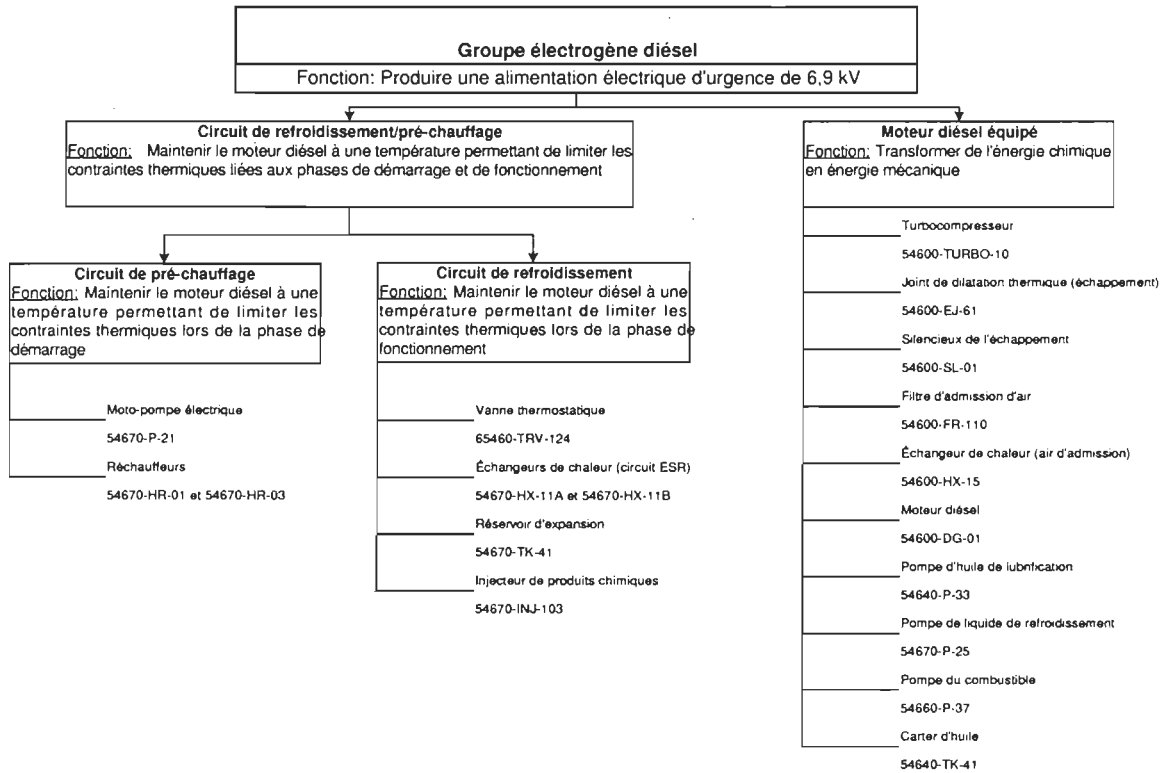
### Arborescence matérielle du groupe électrogène



## ANNEXE B (suite)



## ANNEXE B (suite)



## ANNEXE C

### Analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)

<b>Sous-système:</b>	Alternateur
<b>Équipement:</b>	Alternateur 54600-ALT-01
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de l'alternateur (enroulements, coussinets, etc)</p> <p>Haute température de l'enroulement du stator. Cette mesure sera prise par 65460-TI-1209, dont la valeur nominale est de <math>T &lt; 100</math> degrés Celsius, et le point de consigne est de <math>T &gt; 130</math> degrés Celsius. Les causes d'une haute température de l'enroulement du stator sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) le groupe est en essai, surcharge (<math>P &gt; 2500</math> kW)</li><li>b) le groupe est en essai, autres causes</li><li>c) le groupe fonctionne en urgence, surcharge (<math>P &gt; 2500</math> kW)</li><li>d) le groupe fonctionne en urgence, obstruction du grillage d'entrée d'air du niveau de l'alternateur</li><li>e) le groupe fonctionne en urgence, autres causes</li></ul> <p>Haute température des coussinets de l'alternateur. Les causes possibles sont:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) interrupteur déclenché 5343-PD-233 CCT13</li><li>b) mauvaise ventilation de la salle T2-101, volets 7322-F-133, F-135, F-149, F-151</li><li>c) fusible #4 brûlé à l'intérieur du PL-2501B</li><li>d) bas niveau ou fuite d'huile de lubrification, lu sur 65460-LG-198</li></ul>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de l'alternateur engendre une indisponibilité du groupe électrogène.
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Transducteur de température 65460-TT-249 G/1 donnant une alarme sur AN-2501#29 si <math>T &gt; 85</math> deg. C "Coussinet alternateur, température haute". Valeur nominale [65, 75 deg. C.].</p> <p>Logique de protection, mesurage et signalisation</p> <p>Sonde de température 65460-TI-1209, dont le point de consigne est à <math>T &gt; 130</math> deg. C. Donne une alarme sur AN-2501#15.</p> <p>Indicateur de niveau d'huile 65460-LG-198</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Toute défaillance confondue, taux de défaillance = $3,3 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Alternateur
<b>Équipement:</b>	Élément chauffant 54600-HR-01
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la logique de démarrage et d'arrêt du DG (relais 4-1).</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 208 Vc.a. cat. IV 5344-PD-254 CCT7, 9 et 11.</p> <p>Défaillance de l'élément chauffant</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>La défaillance de cet élément chauffant peut entraîner la défaillance de l'alternateur, lors du démarrage du groupe. Cet élément chauffant est activé lors de l'arrêt du DG. Il est désactivé lors du démarrage du DG.</p> <p>On mentionne qu'il n'y aurait aucune incidence sur le groupe à court terme. Cependant, à long terme, il pourrait avoir formation de condensation.</p>
<b>Moyens de détection:</b>	Détecteurs de température à résistance (6 en tout) raccordés à un indicateur TI-1209 sur PL-2501. Donne une alarme sur l'annonceur AN-2501#15 "Enroulement du stator, température haute".
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	50% de Réchauffeur d'huile = $0,27 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-11 Lubricating oil miscellaneous)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Alternateur
<b>Équipement:</b>	Neutre de l'alternateur
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la résistance de 40 ohms (le neutre à proprement dit)</p> <p>Défaillance du relais de protection de courant de terre 51N</p> <p>Défaillance du relais de protection d'intensité de neutre 50NA</p> <p>Défaillance du relais de protection différentiel 87 phases A, B et C</p> <p>Défaillance du relais de protection de champ 40</p> <p>Défaillance du relais de protection de puissance directionnelle 32</p> <p>Défaillance du relais de protection à retenue de tension 51V</p> <p>Défaillance du relais de protection d'intensité à séquence inverse 46 et 46A</p> <p>Défaillance du relais 64FA (valeur nominale &gt; 40 kilo-ohms, point de consigne &lt; 40 kilo-ohms).</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>La défaillance des relais mentionnés entraîne la perte directe de l'alternateur.</p> <p>Il y aura déclenchement du groupe par la protection "Perte de champ".</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Relais (64FA) de détection de défaut à la terre du rotor donnant une alarme sur AN-2501#10 "Mise à la terre du champ". On note que la perte de l'alimentation électrique en provenance du panneau 5342-PL-567, barre TA cat.II, entraîne l'indisponibilité de la protection procurée par ce relais de protection de MALT rotor (64FA).</p> <p>Logique de protection, mesurage et signalisation</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = 0,63 E-3 / mois (réf. p. 2-5 Generator, Mechanical & Electrical - Electrical Short, Open, Fuse)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Chargeur et accumulateurs
<b>Équipement:</b>	Chargeur de batteries du 5460-PL-2541
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Panne du disjoncteur CB1 et/ou CB/2</p> <p>Panne du chargeur de batteries. Cette panne peut provenir des causes suivantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Panne du panneau de distribution 5343-PD-233 CCT#2, 208 Vc.a. cat III</li> <li>b) Soustension c.c.</li> <li>c) Surtension c.c.</li> <li>d) défaut interne</li> </ul> <p>Panne des batteries</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>La perte de l'alimentation électrique rendra indisponible le chargeur de batteries.</p> <p>Cependant les batteries seront toujours disponibles, à court terme, pour alimenter si requis les équipements suivants:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- démarreur 24 Vc.c. du moteur diesel pour le compresseur d'air 5465-CP-25</li> <li>- la pompe d'amorçage de combustible 5466-P-29</li> <li>- l'amorçage de l'excitation 5460-PL-2521</li> <li>- le compteur horaire 65460-KI-1237</li> </ul> <p>Une défaillance du chargeur doit être réparée rapidement, car elle peut compromettre la disponibilité du groupe (batterie déchargée).</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Perte du 208 Vc.a., PL-2541</p> <p>Soustension c.c., PL-2541</p> <p>Surtension c.c., PL-2541</p> <p>Défaut interne (Défaillance du chargeur, panne du c.a.", PL-2541</p> <p>Le point de consigne pour la tension de sortie est de [24,5 &gt;Vc.c.&gt;28 V]. La valeur nominale est d'environ de 27 Vc.c.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, tous modes confondus = 0,73 E-3/ mois (réf. EIREDA p. 120 Battery chargers / rectifiers, taux de défaillance de 1 E-6 / heure).

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit d'amorçage du combustible
<b>Équipement:</b>	Motopompe électrique d'amorçage du combustible 54660-P-29 et pompe manuelle de secours 54660-P-33
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la logique de démarrage</p> <p>Défaillance de l'alimentation électrique 48 Vc.c., cat. I (5510-PL-553, FU-823 et 824)</p> <p>Défaillance de l'alimentation électrique 24 Vc.c., cat. III (accumulateurs et chargeur PL-2541, FU-03 et FU-04)</p> <p>Défaillance du moteur électrique 24 Vc.c.</p> <p>Défaillance de la commande d'arrêt (interrupteur de vitesse SY-1208 déclenche si révolution &gt; 100 RPM)</p> <p>Défaillance du circuit d'interposition (alimentation 24 Vc.c cat I, PL-2501 FU-802)</p> <p>Défaillance mécanique de la motopompe électrique</p> <p>Défaillance mécanique de la pompe manuelle de secours</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Défaillance du circuit d'amorçage du combustible seulement si 54660-P-29 et P-33 sont en pannes.
<b>Moyens de détection:</b>	<p>a) alarme sur AN-2501#9 si le DG n'atteint pas 100 tour/min en 20 secondes par l'entremise du relais 48 DX</p> <p>b) alarme sur AN-2501#21 si le DG n'atteint pas sa tension nominale 30 secondes après avoir atteint 800 tours/min par l'entremise du relais 48 VX</p> <p>Indicateur marche-arrêt IL-1224 (défaillance en phase démarrage/fonctionnement/arrêt)</p> <p>Soupape de sûreté PSV-183 (ouvre si P &gt; 156 kPa)</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	<p>Taux de défaillance, tous modes confondus, motopompe électrique = 1,3 E-3 / mois (réf. NP-5924 p. 2-12 Fuel Transfer Pumps &amp; Associated Instrumentation &amp; Electrical)</p> <p>Taux de défaillance, pompe manuelle = 0,13 E-3 / mois (10% du taux des pompes électr.)</p>



## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de démarrage
<b>Équipement:</b>	Logique de démarrage
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de l'alim. électrique 48 Vc.c. cat. I, 5510-PL-553 FU-851 et FU-852</p> <p>Défaillance du circuit de sélection poste de commande</p> <p>Défaillance circuit condition de pré-démarrage</p> <p>Défaillance du circuit de démarrage</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 24 Vc.c. en provenance du convertisseur 65460-EY-171 (alimentation du circuit de détection de vitesse)</p> <p>Défaillance du circuit de détection de vitesse (SE-1208, SI-1208, SY-1208, etc) (FU-800)</p> <p>Défaillance du circuit d'accélération</p> <p>Défaillance du circuit de sélection isochrone statisme</p> <p>Défaillance du circuit de panne d'établissement de tension</p> <p>Défaillance du circuit de détection PERCA</p> <p>Défaillance du démarreur</p> <p>a) défaillance de l'alim. électrique 48 Vc.c. cat. I, 5510-PL-553 FU-855 et FU-856</p> <p>b) défaillance de SV-171 et de SV-110, SV-111 (sur circuit d'air comprimé)</p> <p>Commutateurs en position non "AUTO". Au moins un des commutateurs suivants n'est pas en position "AUTO":</p> <p>a) "Pompe de combustible" HS-1223</p> <p>b) "Pompe d'eau" HS-1225</p> <p>c) "Pompe d'huile No 21" HS-1226, ou "Pompe d'huile No 23" HS-1228</p> <p>Conditions de démarrage non-remplies, signal initié au E/C-1226 par relais 3-1. Au moins un des commutateurs suivants n'est pas dans la bonne position:</p> <p>a) "Select mode DG1" HS-1004 n'est pas en position "Distance"</p> <p>b) L'interrupteur "27X/SW10" de CB/E12 est ouvert</p> <p>c) "Régulateur de tension" HS-1219 n'est pas en position "Auto"</p> <p>d) "Régulateur de vitesse" HS-1216 n'est pas en position "Auto"</p> <p>e) "Démarrage" HS-1221 n'est pas en position "En"</p>

## ANNEXE C (suite)

- f) "Pompe de combustible" HS-1224 n'est pas en position "Auto"
- g) "Ventilateur du carter" HS-1230 n'est pas en position "Auto"

**Conséquences de la défaillance:**

La défaillance du circuit de démarrage entraîne la défaillance du DG.

Notez que dans le cas de la réception d'un signal PERCA, le groupe électrogène démarre mais ne se couple à la barre que sur signal de panne de tension cat. IV.

D'autre part, la réception d'un signal AMA (ie en provenance de AMA1 et/ou AMA2) aura les conséquences suivantes sur le groupe électrogène:

- a) Si le DG est en attente, alors il n'y a aucune conséquence.
- b) Si le DG est couplé au réseau (essai), alors le DG est découplé de la barre de cat. III.
- c) Si le DG est couplé à la barre E (panne cat. IV), alors il n'y a aucune conséquence sur le groupe.

Un mauvais positionnement des commutateurs, déclenchant l'alarme sur AN-2501#30, n'empêche pas le démarrage du groupe, mais des alarmes peuvent être initiés lors de son fonctionnement.

Un temps de démarrage supérieur à 15 secondes, détecté par le relais 48 DX-1, engendrera une alarme sur E/C-1229 et AN-2501#9. La valeur nominale est < 15 secondes. Notez que les actions suivantes seront posées dans une telle éventualité:

- a) le relais 86D verrouille la logique de démarrage du groupe
- b) incrémentation du compteur de défaillance de démarrage, sur PL-2501A

**Moyens de détection:**

Alarme sur AN-2501#1 "Conditions de démarrage non-remplie". Cette fenêtre d'alarme s'active dans au moins une des causes suivantes:

- a) le commutateur "SELECT MODE DG1" 65460-HS-1004 n'est pas en position "DISTANCE"
- b) le commutateur "5460 DG1" 65460-HS-1000 n'est pas en position "AUTO"
- c) l'interrupteur "27X/SW10" de CB/E12 est ouvert
- d) le commutateur "RÉGULATEUR DE TENSION" 65460-HS-1219 n'est pas en position "AUTO"
- e) le commutateur "DÉMARRAGE" 65460-HS-1221 n'est pas en position "EN"

## ANNEXE C (suite)

f) le commutateur "POMPE DE COMBUSTIBLE" 65460-HS-1224 n'est pas en position "AUTO"

g) le commutateur "VENTILATEUR DU CARTER" 65460-HS-1230 n'est pas en position "AUTO"

Alarme sur AN-2501#9 "Panne de démarrage". Un signal sera aussi transmis par E/C-1267, par l'entremise de RL-118.

Suite à une perte de l'alim. électrique 24 Vc.c. en provenance de 65460-EY-171, une alarme est donnée sur AN-2501#32 "Perte 65460-EY-171 24 Vc.c. alim".

Alarme sur AN-2501#21 "Panne d'établissement de la tension".

Alarme sur AN-2501#30 "Commutateur en position non-Auto".

**Probabilité (ou taux) de défaillance:** Taux de défaillance, tous modes confondus =  $1,9 \text{ E-3}$  / mois (réf. NP-5924 p. 2-8 Start Air Signal)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de démarrage à air comprimé
<b>Équipement:</b>	Démarrateurs Bendix 54650-SM-100 et SM-101
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance du lubrificateur d'huile LU-102 pour entraîner la défaillance du démarreur SM-100</p> <p>Défaillance du lubrificateur d'huile LU-103 pour entraîner la défaillance du démarreur SM-101</p> <p>Défaillance mécanique du démarreur</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance simultanée des deux démarreurs cause la défaillance du moteur diesel au démarrage
<b>Moyens de détection:</b>	<p>a) alarme sur AN-2501#9 si le DG n'atteint pas 100 tour/min en 20 secondes par l'entremise du relais 48 DX</p> <p>b) alarme sur AN-2501#21 si le DG n'atteint pas sa tension nominale 30 secondes après avoir atteint 800 tours/min par l'entremise du relais 48 VX</p> <p>Note : Pour avoir ces alarmes, il faut que les deux démarreurs soient en panne.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $1,4 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-7 Air Motor Mechanical)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de démarrage à air comprimé
<b>Équipement:</b>	Lubrificateurs d'huile 54650-LU-102 et LU-103
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance du lubrificateur d'huile
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>Défaillance du démarreur Bendix 54650-SM-100 si 54650-LU-102 est en panne.</p> <p>Défaillance du démarreur Bendix 54650-SM-101 si 54650-LU-103 est en panne.</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>a) alarme sur AN-2501#9 si le DG n'atteint pas 100 tour/min en 20 secondes par l'entremise du relais 48 DX</p> <p>b) alarme sur AN-2501#21 si le DG n'atteint pas sa tension nominale 30 secondes après avoir atteint 800 tours/min par l'entremise du relais 48 VX</p> <p>Note : Pour avoir ces alarmes, il faut que les deux démarreurs soient en panne.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = 0,09 E-3 / mois (réf. NP-5924 p. 2-7 Air Motor Mechanical - Lubrification)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de démarrage à air comprimé
<b>Équipement:</b>	Moteur diésel 54650-CPM-25
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la commande</p> <p>a) circuit de commande : HS-1222, PS-165, PS-135 démarrage si <math>P &lt; 1379</math> kPa, arrêt si <math>P &gt; 1724</math> kPa</p> <p>b) moteur 24 Vc.c. du démarreur refuse de fonctionner</p> <p>Perte de l'alimentation électrique 24 Vc.c. cat. III (chargeur et accumulateur) PL-2541, FU-1, 2, 9, 10</p> <p>Défaillance mécanique du moteur diésel</p> <p>a) pression d'huile de lubrification basse, PS-133, donnant une alarme sur AN-2501#28 si <math>P &lt; 103</math> kPa</p> <p>b) température moteur haute, TS-132, donnant une alarme sur AN-2501#28 si <math>T &gt; 91</math> deg. C</p> <p>c) défaillance du régulateur de vitesse, SS-176 (temps de démarrage trop long)</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>Refus de démarrer ou refus d'arrêter du moteur diésel.</p> <p>Défaillance de la commande (circuit de commande ou moteur 24 V c.c.)</p> <p>Défaillance du motocompresseur diésel de relève</p> <p>Haute température d'air, détectée par 65460-TS-132</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Voyant marche-arrêt (IL-1222).</p> <p>Instrumentation locale :</p> <p>PI-167</p> <p>PI-108</p> <p>PI-137 sur PL-1741</p> <p>PI-136 sur PL-1741</p> <p>Instrumentation à distance :</p> <p>65460-PS-112 et PS-113, donnant une alarme sur AN-2501#2 si <math>P &lt; 620</math> kPa (basse pression)</p> <p>65460-PS-133, donnant une alarme sur AN-2501#28 si <math>P &lt; 103</math> kPa (pression basse cylindre)</p> <p>65460-TS-132, donnant une alarme sur AN-2501#28 si <math>T &gt; 91</math> deg. C (température moteur haute)</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $0,17 \text{ E-3}$ / mois (10% taux de défaillance du moteur diésel 5460-DG-1)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de démarrage à air comprimé
<b>Équipement:</b>	Motocompresseur de relèvement 54650-CP-25
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance du moteur diesel  Défaillance mécanique du compresseur
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Défaillance du motocompresseur diesel de relèvement
<b>Moyens de détection:</b>	Voyant marche-arrêt (IL-1222).  Instrumentation locale : PI-167 PI-108 PI-137 sur PL-1741 PI-136 sur PL-1741  Instrumentation à distance : 65460-PS-112 et PS-113, donnant une alarme sur AN-2501#2 si $P < 620$ kPa (basse pression) 65460-PS-133, donnant une alarme sur AN-2501#28 si $P < 103$ kPa (pression basse cylindre) 65460-TS-132, donnant une alarme sur AN-2501#28 si $T > 91$ deg. C (température moteur haute)
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $0,32 \text{ E-3 /mois}$ (50% du taux de défaillance de la motopompe électrique, circuit de démarrage à air comprimé)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de démarrage à air comprimé
<b>Équipement:</b>	Motocompresseur électrique 54650-CP-21
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la commande</p> <p>1) 65460-HS-1229</p> <p>2) 65460-PS-164 ou 65460-PS-107 :</p> <p>a) Démarrage de 54650-CP-21 si <math>P &lt; 1586</math> kPa</p> <p>b) Arrêt de 54650-CP-21 si <math>P &gt; 1724</math> kPa</p> <p>Perte du 48 Vc.c. cat. I</p> <p>Défaillance de l'alimentation électrique 600 Vc.a. cat. III (barre N) 5353-PL-1533 CCM33/P1</p> <p>Défaillance mécanique du motocompresseur</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>Refus de démarrer ou de fonctionner du motocompresseur.</p> <p>Cependant, il n'y aura aucune incidence sur le circuit de démarrage à air comprimé car il y a une relève assurée par le compresseur diesel 5465-CP-25.</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Voyant marche-arrêt (IL-1229).</p> <p>Instrumentation locale :</p> <p>PI-167</p> <p>PI-108</p> <p>PI-137 sur PL-1741</p> <p>PI-136 sur PL-1741</p> <p>Instrumentation à distance :</p> <p>65460-PS-112 et PS-113, donnant une alarme sur AN-2501#2 si <math>P &lt; 620</math> kPa (basse pression)</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $0,63 \text{ E-3 /mois}$ (réf. NP-5924 p. 2-14 Start Air - Compressor & Miscellaneous)



## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de démarrage à air comprimé
<b>Équipement:</b>	Piston d'activation de la tringlerie de commande du combustible 54650-PZ-171
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance des vannes solénoïdes 65460-SV-110 et SV-111 (il faut que les deux vannes soient défaillantes)  Défaillance du piston
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Défaillance du moteur diésel au démarrage
<b>Moyens de détection:</b>	a) alarme sur AN-2501#9 si le DG n'atteint pas 100 tour/min en 20 secondes par l'entremise du relais 48 DX  b) alarme sur AN-2501#21 si le DG n'atteint pas sa tension nominale 30 secondes après avoir atteint 800 tours/min par l'entremise du relais 48 VX
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	négligeable

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de démarrage à air comprimé
<b>Équipement:</b>	Réservoir de combustible 54650-TK-45
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaut d'alimentation en combustible :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) niveau de combustible &lt; 2 litres</li> <li>b) vanne solénoïde SV-174 refuse d'ouvrir</li> <li>c) fuites dans la tuyauterie</li> </ul> <p>Défaillance mécanique du réservoir</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Panne du motocompresseur diésel de relèvement
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Voyant marche-arrêt (IL-1222)</p> <p>Instrumentation locale :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PI-167</li> <li>PI-108</li> <li>PI-137 sur PL-1741</li> <li>PI-136 sur PL-1741</li> </ul> <p>Instrumentation à distance :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>65460-PS-112 et PS-113, donnant une alarme sur AN-2501#2 si <math>P &lt; 620 \text{ kPa}</math> (basse pression)</li> <li>65460-LS-129 donnant une alarme sur AN-2501#28 si niveau &lt; 2 L.</li> <li>Valeur nominale niveau &gt; 4,5 L.</li> </ul>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, fuite de combustible = $1,8 \text{ E-3 / mois}$ (réf. NP-5924 p. 2-9 Fuel Leakage)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de démarrage à air comprimé
<b>Équipement:</b>	Réservoirs d'air comprimé 54650-TK-41A et TK-41B
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Fuite externe :</p> <p>a) fuites par le réservoir, l'instrumentation, les conduits, les vannes</p> <p>b) défaillance de PSV-166 (TK-41B)</p> <p>c) défaillance de PSV-159 (TK-41A)</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Défaillance du circuit de démarrage à air comprimé
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Instrumentation locale :</p> <p>PI-167</p> <p>PI-108</p> <p>PI-137 sur PL-1741</p> <p>PI-136 sur PL-1741</p> <p>Instrumentation à distance :</p> <p>65460-PS-112 et PS-113, donnant une alarme sur AN-2501#2 si <math>P &lt; 620 \text{ kPa}</math> (basse pression)</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $0,19 \text{ E-3}$ / mois (réf. OH 86296 p. 1.42 Tanks - all types/sizes, correspondant à 100% de $2,3 \text{ E-3}$ / an).

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de démarrage à air comprimé
<b>Équipement:</b>	Tuyauterie et crépines 54650-STR-107 et STR-108
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Fuite externe tuyauterie :</p> <p>a) fuites par l'instrumentation, la tuyauterie, les vannes</p> <p>b) défaillance de PSV-138 ou PSV-139 (sur très haute pression)</p> <p>Fuite externe par les crépines</p> <p>Défaillance mécanique de la tuyauterie ou des crépines</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Défaillance du circuit de démarrage à air comprimé
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Instrumentation locale :</p> <p>PI-167</p> <p>PI-108</p> <p>PI-137 sur PL-1741</p> <p>PI-136 sur PL-1741</p> <p>Instrumentation à distance :</p> <p>65460-PS-112 et PS-113, donnant une alarme sur AN-2501#2 si <math>P &lt; 620</math> kPa (basse pression). Si cette alarme est déclenchée alors que le groupe est en attente, alors on devra le considérer comme indisponible. Cependant, si le groupe est en fonctionnement, alors cette fuite d'air n'a pas de conséquence sur la poursuite de sa mission.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, tous modes confondus = $1,6 \text{ E-3 /mois}$ (réf. NP-5924 p. 2-8 Start Air Leakage)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de démarrage à air comprimé
<b>Équipement:</b>	Vannes de régulation de pression 65460-PRV-109 et PRV-114
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique de la vanne  Dérive de la consigne
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Défaillance du circuit de démarrage à air comprimé
<b>Moyens de détection:</b>	Instrumentation locale : PI-167 PI-108 PI-137 sur PL-1741 PI-136 sur PL-1741  Instrumentation à distance : 65460-PS-112 et PS-113, donnant une alarme sur AN-2501#2 si $P < 620$ kPa (basse pression)
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = $0,18 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-11 Start Air - Valve Electrical & Mechanical - Regulator)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de démarrage à air comprimé
<b>Équipement:</b>	Vannes solénoïdes de démarrage 65460-SV-110 et 65460-SV-111
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la logique de démarrage</p> <p>Défaillance de l'alimentation électrique 48 Vc.c., cat. I (PL-553, FU-855 et 856)</p> <p>Défaillance mécanique de la vanne (refus d'ouvrir, de fermer, fuite externe)</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Défaillance du circuit de démarrage à air comprimé, à condition de perdre les 2 vannes solénoïdes ensembles. Une seule vanne est apte à faire démarrer un DG.
<b>Moyens de détection:</b>	<p>a) alarme sur AN-2501#9 si le DG n'atteint pas 100 tour/min en 20 secondes par l'entremise du relais 48 DX</p> <p>b) alarme sur AN-2501#21 si le DG n'atteint pas sa tension nominale 30 secondes après avoir atteint 800 tours/min par l'entremise du relais 48 VX</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, tous modes confondus = 2,2 E-3 / mois ( réf. NP-5924 p. 2-11 Start Air - Valve Electrical & Mechanical)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de lubrification
<b>Équipement:</b>	Crépine 54640-STR-100
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique de la crépine
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de la crépine (fuite externe importante, bouchage, etc) entraîne l'indisponibilité du DG, selon les niveaux de pression atteints (voir moyens de détection).
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Indicateur de pression PI-142 via PL-1741.</p> <p>Manostat de pression PS-115#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 138</math> kPa, à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-115#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 148</math> kPa "Huile très basse pression", à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 295</math> kPa, à 800 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 325</math> kPa "Huile très basse pression", à 800 RPM.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $1.0 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-6 Lubricating oil contamination, Clogged filters)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de lubrification
<b>Équipement:</b>	Échangeur de chaleur 54640-HX-10
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Perte du refroidissement (défaillance du circuit de refroidissement).</p> <p>Défaillance mécanique de l'échangeur.</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de l'échangeur de chaleur (fuite externe importante, bouchage, etc) entraîne l'indisponibilité du DG, selon les niveaux de pression atteints (voir moyens de détection).
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Indicateur de pression PI-142 via PL-1741.</p> <p>Manostat de pression PS-115#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 138</math> kPa, à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-115#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 148</math> kPa "Huile très basse pression", à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 295</math> kPa, à 800 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 325</math> kPa "Huile très basse pression", à 800 RPM.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $0,54 \text{ E-3}$ / mois (100% du taux de défaillance en provenance de NP-5924 p. 2-5 Coolant Leakage - Water/Water Heat Exchanger)



## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de lubrification
<b>Équipement:</b>	Filtre à l'huile 54640-FR-50
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance mécanique du filtre</p> <p>Pression différentielle haute. Cette défaillance sera détectée par 65460-PS-141, en donnant une alarme sur AN-2501#26. Une confirmation peut être obtenue par 65460-PI-140.</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance du filtre (fuite externe importante, bouchage, etc) entraîne l'indisponibilité du DG, selon les niveaux de pression atteints (voir moyens de détection).
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Indicateur de pression PI-142 via PL-1741.</p> <p>Manostat de pression PS-115#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 138</math> kPa, à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-115#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 148</math> kPa "Huile très basse pression", à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 295</math> kPa, à 800 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 325</math> kPa "Huile très basse pression", à 800 RPM.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $1.0 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-6 Lubricating oil contamination, Clogged filters)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de lubrification
<b>Équipement:</b>	Filtre du carter 54640-FR-58
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique du filtre
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance du filtre du carter entraînera la défaillance du carter, et l'arrêt du DG, si cette défaillance résulte en une augmentation de pression supérieure à 1,25 kPa.
<b>Moyens de détection:</b>	Manostat de pression PS-162 donnant une alarme sur AN-2501#16 si P > 1,25 kPa dans 54640-TK-41 (carter).
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = 1.0 E-3 / mois (réf. NP-5924 p. 2-6 Lubricating oil contamination, Clogged filters)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de lubrification
<b>Équipement:</b>	Tuyauterie du circuit de lubrification
<b>Causes de défaillance:</b>	Fuites externes par la tuyauterie, l'instrumentation, etc.
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de la tuyauterie, résultant en une obstruction ou une fuite externe majeure, entraînera la défaillance du DG
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Indicateur de pression PI-142 via PL-1741.</p> <p>Manostat de pression PS-115#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 138</math> kPa, à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-115#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 148</math> kPa "Huile très basse pression", à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 295</math> kPa, à 800 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 325</math> kPa "Huile très basse pression", à 800 RPM.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, fuites externes de lubrifiant = $1,9 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-6 Oil Leakage)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de lubrification
<b>Équipement:</b>	Vanne de régulation de pression 54640-PRV-117
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique de la vanne de régulation de pression
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de la vanne de régulation de pression (fuite externe importante, bouchage, etc) entraîne l'indisponibilité du DG, selon les niveaux de pression atteints (voir moyens de détection).
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Indicateur de pression PI-142 via PL-1741.</p> <p>Manostat de pression PS-115#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 138</math> kPa, à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-115#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 148</math> kPa "Huile très basse pression", à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 295</math> kPa, à 800 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 325</math> kPa "Huile très basse pression", à 800 RPM.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $0,82 \text{ E-3}$ / mois (réf. OH 86296 p. T-1.28 Relief Valves < 2" 100% de all modes $9,8 \text{ E-3}$ / an)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de lubrification
<b>Équipement:</b>	Ventilateur du carter 54640-F-01
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la commande (SY-1208, commande le démarrage de 54640-F-01 à 100 RPM)</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-831 et FU-832</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 120 Vc.a. cat. II 5600-PD/e CB/5e, PL-2501 FU-10.</p> <p>Défaillance du ventilateur.</p> <p>a) défaillance du moteur électrique 1/3 HP</p> <p>b) défaillance du relais thermique de surcharge 49MK-1</p> <p>c) défaillance mécanique du ventilateur</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>La défaillance du ventilateur du carter n'a aucune incidence sur le fonctionnement du groupe électrogène car les vapeurs d'huile du carter parviennent tout de même à s'évacuer à l'atmosphère. Néanmoins, on peut noter que les conséquences suivantes sont envisageables en cas de panne du ventilateur du carter:</p> <p>a) augmentation de la pression dans le carter</p> <p>b) déclenchement du groupe et verrouillage de la logique de démarrage (en dernier lieu cependant et avec une faible probabilité)</p> <p>On mentionne qu'il serait avantageux d'enlever les bouchons vissés de remplissage d'huile pour aider à une meilleure ventilation du carter au cas où les groupes électrogènes étaient requis de fonctionner.</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Voyant lumineux marche-arrêt IL-1230.</p> <p>Soupape de sûreté PSV-194.</p> <p>Manostat de pression PS-162 donnant une alarme sur AN-2501#16 si P &gt; 1,25 kPa dans 54640-TK-41 (carter)</p> <p>La panne du ventilateur du carter est détectée par les relais 27 K1 et 49 MK, donnant alarme sur AN-2501#24.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	50% du taux de défaillance d'une motopompe électrique du circuit de pré-lubrification dû à un défaut sur les roulements. Ce taux = 0,14 E-3 / mois (réf. NP-5924 p. 2-13 Oil Pumps, Prelube and Associated Electrical - Pump Motor Bearings).

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de pré-lubrification
<b>Équipement:</b>	Pompes de pré-lubrification 54640-P-21, P-23 et P-29
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>1) Défaillance de 54640-P-21 et de P-23</p> <p>1a) Défaillance de la commande (défaillance de SY-1208 [arrêt à 100 RPM], défaillance de HS-1226 et HS-1227 pour P-21, défaillance de HS-1227 et HS-1228 pour P-23, défaillance de PB-1231)</p> <p>1b) Défaillance alim. électrique 48 Vc.c. cat.I 5510-PL-553 (FU-641 et 642 pour P-21, FU-643 et 644 pour P-23)</p> <p>1c) Défaillance alim. électrique 600 Vc.a. cat. IV (barre G) 5354-PL-1545 CCM45/P1 pour P-21, 5354-PL-1545 CCM45/P2 pour P-23</p> <p>1d) Défaillance mécanique de P-21 ou P-23</p> <p>1e) Défaillance du relais de surveillance de tension</p> <p>NOTE: Alors que HS-1227 est à la position "Pompe #1" (démarrage de P-21), le relais de surveillance de tension (621X-1) s'excite et envoie un signal au relais temporisé (621-1) qui engendrera le démarrage de P-23, 10 sec après l'ordre de démarrage de P-21, dans l'éventualité où P-21 refuse de démarrer (idem pour P-23 avec 622-1 et 622X-1)</p> <p>2) Défaillance mécanique de la pompe manuelle 54640-P-29</p> <p>3) Déclenchement intempestif du disjoncteur (CCM 45/P1 ou CCM 45/P2) de 5464-P-21 ou de P-23. Ce défaut survient alors qu'une des pompes est en marche. Dans ce cas, une alarme sur AN-2501#25 se déclenche</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>Ces trois pompes constituent une redondance (1 de 3) pour cette fonction.</p> <p>La perte du circuit de pré-lubrification augmente la probabilité de défaillance au démarrage du DG. S'il survenait une panne de catégorie IV ou un LOCA, alors le diesel démarrerait et il déclencherait aussitôt sur basse pression d'huile, le circuit étant dépressurisé à cause de l'absence des pompes de pré-lubrification.</p> <p>Dans une telle éventualité, il serait recommandable de démarrer un groupe électrogène localement après avoir pressurisé le système d'huile de lubrification à l'aide de la pompe manuelle 5464-P-29 pour DG-1 (P-31 pour DG-3) et ensuite synchroniser ce groupe électrogène au réseau afin d'assurer la disponibilité d'un groupe électrogène impair.</p>

## ANNEXE C (suite)

### Moyens de détection:

Voyants lumineux IL-1226 (pour P-21) et IL-1228 (pour P-23).

Soupape de sûreté PSV-181 (pour P-21) et PSV-182 (pour P-23) .  
Elles ouvrent si  $P > 930$  kPa.

Dans le cas de la défaillance d'une des deux pompes électriques et du fonctionnement de l'autre, une alarme est signalée sur AN-2501#25 "Pompe de lubrification de réserve en marche"

Thermostat TS-161, donnant une alarme sur AN-2501#3 si  $T < 35$  deg. C, "Huile de lubrification, temp. basse".

Indicateur de pression PI-142 via PL-1741.

Indicateur de température TE-118#6

### Probabilité (ou taux) de défaillance:

Taux de défaillance (tous modes confondus) motopompes électriques =  $0,63 \text{ E-3}$  / mois (réf. NP-5924 p. 2-13 Oil pumps, Prelube & Associated Electrical)

Taux de défaillance, pompe manuelle =  $0,06 \text{ E-3}$  / mois (10% du taux des motopompes électriques)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de pré-lubrification
<b>Équipement:</b>	Réchauffeur d'huile 54640-HR-01
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la commande</p> <p>a) défaillance de P-21 et P-23</p> <p>b) manostat de pression FS-120, dont le contact ferme si <math>P &lt; 15</math> kPa</p> <p>c) thermostat TS-121, dont le contact ouvre à <math>T &gt; 45</math> deg. C</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-843 et FU-844</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 600 Vc.a. cat. IV (barre G) 5354-PL-1545 CCM45/M5</p> <p>Défaillance du réchauffeur</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>La défaillance du réchauffeur entraîne la perte partielle de la fonction du circuit de pré-lubrification.</p> <p>La perte du circuit de pré-lubrification augmente la probabilité de défaillance au démarrage du DG</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Thermostat TS-161, donnant une alarme sur AN-2501#3 si <math>T &lt; 35</math> deg. C, "Huile de lubrification, temp. basse". Cette alarme survient nécessairement quand le groupe est en attente, puisqu'en marche la température d'huile de lubrification est supérieure à 80 degrés Celsius.</p> <p>Indicateur de pression PI-142 via PL-1741.</p> <p>Indicateur de température TE-118#6.</p> <p>Notez qu'une basse température d'huile peut provoquer une basse température d'eau de refroidissement. On pourrait donc avoir aussi l'alarme AN2501#4 "Eau de refroidissement température basse".</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $0,54 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-11 Lubricating Oil Miscellaneous - Oil heater)



## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de refroidissement/pré-chauffage
<b>Équipement:</b>	Échangeurs de chaleur 54670-HX-11A et HX-11B
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Perte de l'ESR</p> <p>Le circuit d'ESR n'a pas fait l'objet de la présente étude car il a été considéré que les moyens mis en place assurent la fiabilité du refroidissement à travers les échangeurs de chaleur. Le circuit d'ESR, de par sa conception, ne contribue pas significativement à la défaillance d'un groupe électrogène.</p> <p>Défaillance mécanique des échangeurs de chaleur</p> <p>La circulation d'ESR à travers les échangeurs, alors que le groupe est en attente, peut entraîner un abaissement de la température de l'huile de lubrification. Ce faisant, l'alarme de basse température d'huile de lubrification, AN-2501#3, pourrait se déclencher si la température descend sous 35 degrés Celsius. Notez que la valeur nominale de la température d'huile de lubrification, lorsque le groupe est en attente, est de 50 degrés Celsius.</p> <p>De plus, cette même cause de défaillance a une forte probabilité de déclencher l'alarme de basse température d'eau de refroidissement, AN-2501#4 via 65460-TS-130#2, si la température de l'eau descend sous 35 degrés Celsius.</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Perte de la fonction du circuit de refroidissement
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Circuit de refroidissement</p> <p>a) perte d'eau de réfrigérant détectée par 65460-LS-123 si niveau &lt; 10%. Alarme sur AN-2501#6</p> <p>b) thermostat 65460-TS-125#2 donnant une alarme sur AN-2501#13 si <math>t &gt; 96</math> deg. C (alarme très haute température). Déclenchement du groupe électrogène lorsqu'en essai en parallèle avec cat.IV.</p> <p>c) thermostat 65460-TS-125#1 donnant une alarme sur AN-2501#11 si <math>t &gt; 90</math> deg. C (alarme haute température).</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = 0,54 E-3 / mois (réf. NP-5924 p. 2-5 Coolant Leakage - Water/Water heat exchanger)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de refroidissement/pré-chauffage
<b>Équipement:</b>	Injecteur de produits chimiques 54670-INJ-103
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance mécanique de l'injecteur (fuites par l'injecteur, conduits, vannes)</p> <p>Une concentration inadéquate du produit chimique peut entraîner une augmentation de la température du fluide de refroidissement du groupe, entraînant ainsi sa défaillance.</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>Perte des caractéristiques physico-chimiques du fluide de refroidissement, si un appoint s'avère nécessaire. (Concentration inadéquate du produit chimique)</p> <p>(Cet équipement est un auxiliaires au circuit de refroidissement. Sa défaillance, lors d'un appoint en liquide de refroidissement, pourrait cependant causer une indisponibilité de ce circuit.)</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Circuit de refroidissement</p> <p>a) thermostat 65460-TS-125#2 donnant une alarme sur AN-2501#13 si <math>t &gt; 96</math> deg. C (alarme très haute température). Déclenchement du groupe électrogène lorsqu'en essai en parallèle avec cat.IV.</p> <p>b) thermostat 65460-TS-125#1 donnant une alarme sur AN-2501#11 si <math>t &gt; 90</math> deg. C (alarme haute température).</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	négligeable

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de refroidissement/pré-chauffage
<b>Équipement:</b>	Motopompe de circulation d'eau de pré-chauffage des chemises 54670-P-21
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la commande de démarrage 65460-HS-1225, 65460-TS-130#1 (contact ferme si <math>t &lt; 43</math> deg. C)</p> <p>Défaillance de l'alimentation électrique 600 V c.a. cat IV (barre G) 5354-PL-1545 CCM 45/P5</p> <p>Défaillance de commande de l'arrêt interrupteur de vitesse 65460-SY-1208</p> <p>Défaillance de l'alimentation électrique 48 V c.c. cat. I, 5510-PL-553, FU-657 et FU-658</p> <p>Défaillance mécanique de la pompe</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Défaillance du circuit de pré-chauffage (Motopompe 54670-P-21, réchauffeurs 54670-HR-01 et HR-03)
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Circuit de pré-chauffage</p> <p>a) thermostat 65460-TS-130#2 donnant une alarme sur AN-2501#4 si <math>t &lt; 35</math> deg. C</p> <p>b) lampe IL-1225 (mise en marche de 54670-P-21)</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, tous modes confondus = $1,3 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-5 Coolant Pumps, Motors & Associated Electrical)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de refroidissement/pré-chauffage
<b>Équipement:</b>	Réchauffeurs 54670-HR-01 et HR-03
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la commande d'activation</p> <p>a) 65460-HS-1225</p> <p>b) 54670-P-21 (défaillance de fonctionnement)</p> <p>Défaillance de l'alimentation électrique 600 V c.a. cat IV (barre G) 5354-PL-1545 CCM 45/Q2</p> <p>Défaillance de commande de l'arrêt</p> <p>a) interrupteur de vitesse 65460-SY-1208</p> <p>b) motopompe 54670-P-21</p> <p>Défaillance des réchauffeurs</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Défaillance du circuit de pré-chauffage (Motopompe 54670-P-21, réchauffeurs 54670-HR-01 et HR-03)
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Circuit de pré-chauffage</p> <p>a) thermostat 65460-TS-130#2 donnant une alarme sur AN-2501#4 si <math>t &lt; 35</math> deg. C. Cette alarme survient nécessairement quand le groupe est en attente, puisqu'en marche la température d'eau de refroidissement est supérieure à 75 degrés Celsius.</p> <p>b) lampe IL-1225 (mise en marche de 54670-P-21)</p> <p>Une basse température d'eau de refroidissement peut provoquer une basse température d'huile. On pourrait donc avoir aussi l'alarme AN-2501#3 "Huile de lubrification température basse".</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, tous modes confondus = $0,45 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-13 Cooling - Miscellaneous - Heater)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de refroidissement/pré-chauffage
<b>Équipement:</b>	Réservoir d'expansion 54670-TK-41
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Bas niveau (fuites par l'instrumentation, conduits, vannes, drains, réservoir). Le niveau sera considéré comme bas s'il est inférieur à 25% de la capacité du réservoir. Un bas niveau peut avoir les causes suivantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) fuite d'eau externe par le réservoir</li> <li>b) fuite d'eau externe par la tuyauterie et/ou les robinets</li> <li>c) fuite d'eau interne par les joints toriques aux chemises de cylindres</li> <li>d) fuite d'eau interne par une tête de moteur craquée</li> </ul> <p>Défaillance mécanique du réservoir (rupture)</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Perte de la fonction du circuit de refroidissement
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Circuit de refroidissement</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) perte d'eau de réfrigérant détectée par 65460-LS-123 si niveau &lt; 10%, valeur nominale [25%, 75%]. Alarme sur AN-2501#6</li> <li>b) thermostat 65460-TS-125#2 donnant une alarme sur AN-2501#13 si <math>t &gt; 96</math> deg. C (alarme très haute température). Déclenchement du groupe électrogène lorsqu'en essai en parallèle avec cat.IV.</li> <li>c) thermostat 65460-TS-125#1 donnant une alarme sur AN-2501#11 si <math>t &gt; 90</math> deg. C (alarme haute température).</li> <li>d) indicateur de niveau local 65460-LG-122</li> </ul>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	<p>Taux de défaillance, tous modes confondus = <math>2,2 \text{ E-3}</math> / mois (réf. NP-5924 p. 2-5 Coolant Leakage.  <math>3,1 - 0,54 - 0,36</math> [air/water radiator] = <math>2,2 \text{ E-3}</math> / mois )</p>

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de refroidissement/pré-chauffage
<b>Équipement:</b>	Tuyauterie du circuit de refroidissement/pré-chauffage
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique de la tuyauterie (fuites par la tuyauterie, l'instrumentation ou les boyaux flexibles)
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Perte de la fonction du circuit de refroidissement
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Circuit de refroidissement</p> <p>a) perte d'eau de réfrigérant détectée par 65460-LS-123 si niveau &lt; 10%. Alarme sur AN-2501#6</p> <p>b) thermostat 65460-TS-125#2 donnant une alarme sur AN-2501#13 si <math>t &gt; 96</math> deg. C (alarme très haute température). Déclenchement du groupe électrogène lorsqu'en essai en parallèle avec cat.IV.</p> <p>c) thermostat 65460-TS-125#1 donnant une alarme sur AN-2501#11 si <math>t &gt; 90</math> deg. C (alarme haute température).</p> <p>d) instrumentation locale :</p> <p>TE-118 # 1, 2, 3</p> <p>TI-155</p> <p>TI-156</p> <p>PI-126 sur PL-1741</p> <p>LG-122 (niveau du réservoir d'expansion)</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, fuites externes d'eau de refroidissement = $3,1 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-5 Coolant Leakage)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit de refroidissement/pré-chauffage
<b>Équipement:</b>	Vanne thermostatique 65460-TRV-124
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Dérive du point de consigne (s'il y a ouverture du circuit ESR à <math>t &lt; 71</math> deg. C ou si fermeture à <math>t &gt; 71</math> deg. C)</p> <p>Défaillance mécanique de la vanne</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	Défaillance du circuit de pré-chauffage (Motopompe 54670-P-21, réchauffeurs 54670-HR-01 et HR-03)
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Circuit de pré-chauffage</p> <p>a) thermostat 65460-TS-130#2 donnant une alarme sur AN-2501#4 si <math>t &lt; 35</math> deg. C (alarme basse température)</p> <p>b) thermostat 65460-TS-125#2 donnant une alarme sur AN-2501#13 si <math>t &gt; 96</math> deg. C (alarme très haute température). Déclenchement du groupe électrogène lorsqu'en essai en parallèle avec cat.IV.</p> <p>c) thermostat 65460-TS-125#1 donnant une alarme sur AN-2501#11 si <math>t &gt; 90</math> deg. C (alarme haute température).</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = $0,09 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-12 Coolant - Heat Exchanger, Radiator - Thermostat)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit du combustible
<b>Équipement:</b>	Filtre-séparateur 54660-FR-51
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique du filtre
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de 54660-FR-51 entraîne une perte de la redondance (1 de 4) réalisée par l'interconnection des 4 groupes électrogènes à ce niveau du circuit de combustible
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Manomètres de pression différentielle PI-152 et PI-153. Une lampe s'allumera près de HS-1223 sur pression élevée donnée par PI-152 (<math>P &gt; 190</math> kPa) et/ou par PI-153 (<math>P &gt; 35</math> kPa).</p> <p>Fenêtre (sight glass) LG-180.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, filtre bouché = $0,45 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-10 Fuel - Water, Air & Contamination - Plugged filters)



## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit du combustible
<b>Équipement:</b>	Filtres 54660-FR-100 et FR-101
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique du filtre
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>La défaillance du filtre FR-100 entraînera la défaillance du moteur diesel en fonctionnement.</p> <p>La défaillance du filtre FR-101 entraînera la défaillance du moteur diesel en phase de démarrage ou en fonctionnement.</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>a) alarme sur AN-2501#9 si le DG n'atteint pas 100 tour/min en 20 secondes par l'entremise du relais 48 DX</p> <p>b) alarme sur AN-2501#21 si le DG n'atteint pas sa tension nominale 30 secondes après avoir atteint 800 tours/min par l'entremise du relais 48 VX</p> <p>Indicateur marche-arrêt IL-1224 (défaillance en phase démarrage/fonctionnement/arrêt)</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, filtre bouché = 0,45 E-3 / mois (réf. NP-5924 p. 2-10 Fuel - Water, Air & Contamination - Plugged filters)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit du combustible
<b>Équipement:</b>	Motopompe de transfert de combustible 54660-P-25
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la commande 65460-LS-104, commande le démarrage de P-25 si niveau &lt; 30%, commande l'arrêt de P-25 si niveau &gt; 70%</p> <p>Défaillance de l'alimentation électrique 48 Vc.c. cat.I (5510-PL-553 FU-653, FU-654)</p> <p>Défaillance de l'alimentation électrique 208 Vc.a. cat.III (5343-PD-233 CCT 31 et 33)</p> <p>Défaillance mécanique de la pompe</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de la pompe 54660-P-25 constitue une perte de la redondance offerte par l'interconnection des quatre (4) réservoirs d'entreposage afin d'assurer l'alimentation en combustible à n'importe lequel des groupes électrogènes. La perte de P-25 n'aura donc aucune incidence sur le système à condition que les pompes de transfert P-26, P-27 ou P-28 soient placées à la position "MAN" et que les robinets d'interconnection soient ouverts.
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Indicateur de marche-arrêt IL-1223</p> <p>Indicateur de pression PI-152</p> <p>Indicateurs de température TI-158 et TI-157 (ce dernier via PL-1741)</p> <p>Indicateur de niveau du réservoir d'entreposage LI-151 (via PL-1741)</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, tous modes confondus = $1,3 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-12 Fuel Transfer Pumps & Associated Instrumentation & Electrical)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit du combustible
<b>Équipement:</b>	Réservoir d'entreposage de combustible 54660-TK-41
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Perte de l'alimentation pneumatique, nourrice 67512-AS027EC pour l'instrumentation 65460-LT-151 (niveau de combustible) et 65460-TT-157 (température du combustible)</p> <p>Défaillance mécanique du réservoir</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>L'indisponibilité de 54660-TK-41 cause un bris de la redondance créée par l'interconnection des quatre (4) réservoirs d'entreposage pour l'alimentation en combustible de chacun des groupes électrogènes.</p> <p>La perte de l'alimentation pneumatique peut engendrer de fausses indications quant au niveau de combustible ou à la température de celui-ci. À ce sujet, les instruments 65460-TI-157 et 65460-LI-151 ne seront plus fonctionnels lors d'une panne d'air d'instrumentation. Cela n'a cependant aucune incidence sur le fonctionnement du groupe électrogène.</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Indicateur de pression PI-152</p> <p>Indicateurs de température TI-158 et TI-157 (ce dernier via PL-1741)</p> <p>Indicateur de niveau du réservoir d'entreposage LI-151 (via PL-1741)</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, fuite de combustible = $1,8 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-9 Fuel Leakage)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit du combustible
<b>Équipement:</b>	Réservoir de combustible de jour 54660-TK-45
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance mécanique du réservoir (rupture)</p> <p>La pompe P-25 peut fonctionner, mais il n'y a pas de carburant qui arrive dans TK-45.</p> <p>La pompe P-25 est à l'arrêt, soit dû à un défaut d'alimentation électrique, soit dû à la logique de commande.</p> <p>Le filtre 5466-FR-51 a un différentiel de pression élevé.</p> <p>Défaut de l'instrument 65460-LS-104 (niveau &gt; 350 gal. ou niveau &lt; 150 gal. sont les points de consignes pour demander l'opération de P-25)</p> <p>Fuite d'eau dans le réservoir. Sera détectée par 65460-LS-101.</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	L'indisponibilité de 54660-TK-45 cause une indisponibilité du groupe électrogène.
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Indicateur de niveau haut LI-102</p> <p>Transmetteur de niveau LS-101 donnant une alarme sur AN-2501#7 si niveau de sédiment &gt; 4 cm. La perte du panneau 5343-PD-233 entraîne la perte de 65460-LS-101, de même pour la perte du fusible #8 dans PL-2501B. Il n'y aura aucune incidence sur le fonctionnement du système, excepté la présence d'alarmes.</p> <p>Transmetteur de niveau LS-105#1 donnant une alarme sur AN-2501#5 si niveau &lt; 20% (100 gal.)</p> <p>Transmetteur de niveau LS-105#2 donnant une alarme sur AN-2501#5 si niveau &gt; 80% (400 gal.)</p> <p>Indicateur de niveau bas LI-103</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, fuite de combustible = 1,8 E-3 / mois (réf. NP-5924 p. 2-9 Fuel Leakage)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit du combustible
<b>Équipement:</b>	Soupape de contrôle de pression 65460-PRV-106
<b>Causes de défaillance:</b>	Dérive de la consigne (310 kPa) Défaillance mécanique de la soupape
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de cette soupape, s'il y a surpression dans TK-45, engendrera la défaillance du DG.
<b>Moyens de détection:</b>	Indicateur de pression PI-146 via PL-1741
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = 0,09 E-3 / mois (réf. NP-5924 p. 2-10 Fuel - Water, Air & Contamination - Relief Valve failed.

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Circuit du combustible
<b>Équipement:</b>	Tuyauterie circuit de combustible (rés. jour vers DG)
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique de la tuyauterie
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de la tuyauterie, résultant en une obstruction ou une fuite externe majeure, entraînera la défaillance du DG
<b>Moyens de détection:</b>	Indicateur de fuites provenant des tuyaux d'injection haute pression, LG-145
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, fuites externes de combustible = $1,8 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-9 Fuel Leakage)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Contrôle du régime du moteur diesel
<b>Équipement:</b>	Convertisseur 48 Vc.c./24 Vc.c. 65460-EY-171
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de l'alim. électrique 48 Vc.c. cat. I, 5510-PL-553 FU-839 et FU-840</p> <p>Défaillance du convertisseur. (Perte du 24 Vc.c. pour le circuit de détection de vitesse) La défaillance du convertisseur peut être causée par: a) fusible fondu PL-553 b) panne de tension au PL-553</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>La défaillance du convertisseur entraîne la défaillance du circuit de détection de vitesse, d'où l'impossibilité de démarrer le groupe.</p> <p>Une panne de tension au PL-553 rend les deux groupes impairs indisponible.</p> <p>Si le groupe est en charge, alors l'automatisme d'arrêt mécanique du groupe entre en action. Le disjoncteur CB/E12 déclenche par protection de motorisation (relais 32).</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Alarme sur AN-2501#9 "Panne de démarrage"</p> <p>Suite à une perte de l'alim. électrique 24 Vc.c. en provenance de 65460-EY-171, une alarme est donnée sur AN-2501#32 "Perte 65460-EY-171 24 Vc.c. alim". La valeur nominale est de 24 Vc.c. Si cette alarme est donnée, alors que le groupe est en attente, alors il faut confirmer avec E/C-1327. Si le groupe est en charge, alors il y aura déclenchement des protection électriques, confirmées par E/C-1219 et lampe 54600-IL-1007 éteinte.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = 0,27 E-3 / mois (réf. NP-5924 p. 2-5 Generator, Mechanical & Electrical - current transformer)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Contrôle du régime du moteur diesel
<b>Équipement:</b>	Potentiomètre motorisé 65460-ZT65-PM-1
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance de l'alim. électrique 48 Vc.c. cat. I, 5510-PL-553 FU-859 et FU-860  Défaillance du potentiomètre motorisé
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance du potentiomètre motorisé entraîne la défaillance du régulateur de vitesse.
<b>Moyens de détection:</b>	Alarme sur AN-2501#21 "Panne d'établissement de la tension".  Protection, mesurage et signalisation
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = $0,72 \text{ E-3}$ (réf. NP-5924 p. 2-7 Governor Sensing & Control - Motor operated potentiometer).



## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Contrôle du régime du moteur diesel
<b>Équipement:</b>	Régulateur de vitesse Woodward 65460-XE-171
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance du circuit de détection de vitesse</p> <p>Défaillance de la sonde SE-171</p> <p>Défaillance du potentiomètre motorisé ZT 65 PM-1</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 24 Vc.c. en provenance du convertisseur 65460-EY-171 (FU-801)</p> <p>Défaillance du régulateur de vitesse</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance du régulateur de vitesse Woodward entraîne la défaillance du DG à fournir une alim. électrique de 6,9 kV.
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Alarme sur AN-2501#21 "Panne d'établissement de la tension".</p> <p>Protection, mesurage et signalisation</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = $1,4 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-7 Governor Sensing & Control - Electric control & circuitry)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Contrôle du régime du moteur diésel
<b>Équipement:</b>	Séquenceur 65460-RL-135
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la logique</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 48 Vc.c. cat. I, 5510-PL-553 FU-321 et FU-322</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 120 Vc.a. cat. II, PL-567 FU-213</p> <p>Défaillance du séquenceur (soit une séquence longue, soit que le séquenceur ne soit pas à sa bonne position de départ. Dans ces deux cas, le groupe électrogène ne parviendra pas à alimenter la barre en moins de 45 secondes).</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance du séquenceur entraîne la défaillance du DG à fournir une alim. électrique de 6,9 kV.
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Protections électriques</p> <p>Une défaillance du séquenceur enclenchera E/C-1264 par l'entremise de RL-134 et/ou RL-136.</p> <p>Dans le cas où le séquenceur n'est pas à sa position initiale (pas 24), des alarmes sur E/C-1265 (par RL-123) et sur E/C-1305 (par RL-223) se déclencheront. Le tout sera transmis à AN-0017#7.</p> <p>Dans le cas où le séquenceur est défectueux et n'a pu compléter sa séquence, une alarme sur E/C-1266 se déclenchera.</p> <p>Si le commutateur de commande (HS-500) du séquenceur n'est pas en position "AUTO", alors il y aura alarme sur E/C-1303.</p> <p>Dans le cas d'une séquence longue, une alarme se déclenchera sur AN-0017#7.</p> <p>Une panne d'alimentation électrique de 48 Vc.c. ou de 120 Vc.a. entraînera une alarme sur AN-0017#7.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = $3,8 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-9 100% du taux de Load Sequencing Timers)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Contrôle du régime du moteur diésel
<b>Équipement:</b>	Servo-actuateur 65460-SV-171
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance du régulateur de vitesse  Défaillance de l'alim. électrique 48 Vc.c. cat. I, 5510-PL-553 FU-855 et FU-856  Défaillance du servo-actuateur
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance du servo-actuateur entraîne la défaillance du DG à fournir une alim. électrique de 6,9 kV.
<b>Moyens de détection:</b>	Alarme sur AN-2501#21 "Panne d'établissement de la tension".  Protection, mesurage et signalisation
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, tous modes confondus = $1,17 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-7 Governor Sensing and Control. Taux de défaillance = $0,63$ [speed control servo, mechanical] + $0,54$ [speed control servo, electrical])

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Contrôle du régime du moteur diesel
<b>Équipement:</b>	Transfert de charges 65460-JC-09
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance de l'alim. électrique 208 Vc.a. cat. III, 5343-PD-233 CCT25, CCT-27, CCT-29  Défaillance du transfert de charges
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance du transfert de charges entraîne la défaillance du DG à fournir une alim. électrique de 6,9 kV aux charges de la catégorie III.
<b>Moyens de détection:</b>	Protections électriques
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = 0,81 E-3 (réf. NP-5924 p. 29 Load Sequencing Timers, 100% de Load shedding relays, cam drive)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Excitatrice et régulateur de tension
<b>Équipement:</b>	Excitatrice et régulateur de tension 5460-PL-2521
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance de la commande.</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-381 et FU-382.</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 24 Vc.c. cat. III chargeur et batterie d'accumulateurs PL-2541 FU-5 et FU-6.</p> <p>Défaillance de l'excitatrice ou du régulateur de tension.</p> <p>La tension est en dehors de la plage [6,6 kV; 7,2 kV]</p> <p>La fréquence est en dehors de la plage [59,4 Hz; 60,6 Hz]</p> <p>Panne d'établissement de la tension. Cet événement est détectée par le relais 48 VX, PL-2501B. Il donne une alarme sur AN-2501#21 si la tension c.a. est inférieure ou égale à 5,7 kV. La valeur nominale est de l'ordre de 6,9 kV. Les causes principales d'une panne d'établissement de la tension est une perte du 48 Vc.c. et/ou que le groupe n'atteint pas 800 RPM.</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>La perte du 48 Vc.c. entraîne la défaillance de la commande.</p> <p>La perte du 24 Vc.c. entraîne la défaillance de l'amorçage du champ.</p> <p>La défaillance de l'excitatrice ou du régulateur de tension entraîne la défaillance du groupe électrogène.</p> <p>La conséquence d'une panne d'établissement de la tension sont un déclenchement du groupe et le verrouillage de l'excitation.</p> <p>Une sous-tension ou une surtension à l'amorçage de l'excitatrice engendrera l'alarme sur E/C-1222, pour un point de consigne [5,5 kV &gt;= V c.a. &gt;= 7,8 kVc.a.]. La valeur nominale est de 6,9 kVc.a. L'origine de ce signal est le relais 27 et 62-2 ou 59A et 62-3. Confirmation est donnée par EI-1007 sur PL-14. La cause d'un tel défaut est un régulateur de tension défectueux ou une consigne de tension incorrecte. Notez que si le groupe est chargé, et que la tension atteint 8,64 kV, alors il y aura déclenchement de CB/E12 (E/C-1219 protections électriques déclenchées).</p>

## ANNEXE C (suite)

**Moyens de détection:**

S'il y a perte du chargeur de batterie, alim. électrique 24 Vc.c., une alarme sera donnée sur AN-2501#31 "Chargeur de batterie 24Vc.c. défectueux".

Logique de protection, mesurage et signalisation.

Voltmètre d'équilibre EI-1207.

Voltmètre de champ EI-1206.

Ampèremètre II-1205.

Relais 48VX "Panne d'établissement de la tension", par l'entremise d'une alarme sur AN-2501#21 si tension est inférieure ou égale à 5,7 kV.

Alarme sur E/C-1267 dans l'éventualité d'un défaut sur l'excitatrice.

**Probabilité (ou taux) de défaillance:** Taux de défaillance (tous modes confondus) =  $3.0 \text{ E-3}$  / mois (réf. NP-5924 p. 2-7 Voltage regulator)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Moteur diesel équipé
<b>Équipement:</b>	Carter d'huile 54640-TK-41
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Fuite externe</p> <p>Haute pression. Une haute pression dans le carter sera détectée par 65460-PS-162, dont la valeur nominale est de <math>P = -3</math> kPa et le point de consigne est de <math>P &gt; 1,25</math> kPa. Les causes d'une haute pression dans le carter sont:</p> <p>a) panne du ventilateur du carter 5464-F-1</p> <p>b) bris majeur dans une chambre à combustion du moteur (piston, cylindre, soupapes, etc).</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>La défaillance du carter d'huile (fuite externe, haute pression, etc) entraîne une indisponibilité du DG.</p> <p>Sur haute pression dans le carter, il y aura ouverture d'une trappe à explosion sur le côté gauche du carter provoquant une fuite d'huile subite et majeure.</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Logique de protection, mesurage et signalisation.</p> <p>Indicateur de pression PI-142 via PL-1741.</p> <p>Manostat de pression PS-115#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 138</math> kPa, à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-115#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 148</math> kPa "Huile très basse pression", à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 295</math> kPa, à 800 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 325</math> kPa "Huile très basse pression", à 800 RPM.</p> <p>Soupape de sûreté PSV-194</p> <p>Manostat de pression PS-162 donnant une alarme sur AN-2501#16 si <math>P &gt; 1,25</math> kPa dans 54640-TK-41 (carter). Lorsque le DG fonctionne en parallèle avec la cat. IV, cette alarme déclenche le groupe.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $1,9 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-6 Oil Leakage)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Moteur diesel équipé
<b>Équipement:</b>	Échangeur de chaleur 54600-HX-15
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance du circuit de refroidissement.  Défaillance mécanique de l'échangeur de chaleur
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de l'échangeur de chaleur pourrait entraîner une haute température de l'air d'admission, ayant ainsi comme conséquence probable la défaillance du moteur diesel.
<b>Moyens de détection:</b>	Interrupteur de température TS-172 donnant une alarme sur AN-2501#27 si $T > 93 \text{ deg.C}$ "Tubulure d'admission d'air, température haute".  Indicateur de température TE-118#5 et TI-118#5 via PL-1741  Indicateur de pression PI-148 via PL-1741
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	taux de défaillance = $0,36 \text{ E-3 / mois}$ (réf. NP-5924 p. 2-5 Coolant leakage - air / water radiator)



## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Moteur diesel équipé
<b>Équipement:</b>	Échappement du DG
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique de l'échappement du DG a) défaillance du joint de dilatation thermique 54600-EJ-161 b) défaillance du silencieux de l'échappement 54600-SL-01
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de l'échappement du DG n'empêcherait pas son bon fonctionnement lors d'une situation urgente.
<b>Moyens de détection:</b>	Indicateur de température TE-150#19
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, tous modes confondus = 1,1 E-3 / mois (réf. NP-5924 p. 2-8 Exhaust System)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Moteur diésel équipé
<b>Équipement:</b>	Filtre d'admission d'air 54600-FR-110
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique du filtre d'admission d'air du DG (encrassement, etc)
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance du filtre d'admission d'air du DG causera l'indisponibilité de ce dernier.
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Interrupteur de pression PS-131 donnant une alarme sur AN-2501#8 si <math>P &gt; 1,73</math> kPa, "Filtre d'admission, pression différentielle élevée".</p> <p>Interrupteur de température TS-172 donnant une alarme sur AN-2501#27 si <math>T &gt; 93</math> deg.C "Tubulure d'admission d'air, température haute".</p> <p>Indicateur de température TE-118#5</p> <p>Indicateur de pression PI-148 via PL-1741</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	10% de Filtres bouchés (carburant) = $0,045 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-10 Fuel - Water, Air & Contamination)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Moteur diésel équipé
<b>Équipement:</b>	Moteur diésel 54600-DG-01
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance mécanique du moteur diésel</p> <p>Défaillance des systèmes auxiliaires</p> <p>Fuite de chlore provenant de l'extérieur de la centrale.</p> <p>Température du circuit de refroidissement élevée. Il y aura alors déclenchement du groupe si celui-ci est en essai, la température étant &gt; 96 degrés Celsius, alarmes sur AN-2501#13 via TS-125#2 et sur AN-2501#11 via TS-125#1. Cette augmentation de la température peut provenir des causes suivantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) mauvaise ventilation dans la salle T2-101 volets 7322-F-133, F-135, F-149 et/ou F-151.</li> <li>b) manque de circulation ESR à l'échangeur 5467-HX-11A, HX-11B.</li> <li>c) basse pression ou haute température ESR</li> <li>d) charge du groupe électrogène trop élevée</li> </ul> <p>La perte du 48 Vc.c. cat. I (barre YA), panneau 5510-PL-553, aura les conséquences suivantes sur le groupe électrogène:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Si le groupe électrogène est en attente, le DG ne pourra pas être démarré automatiquement et manuellement.</li> <li>b) Si le groupe électrogène est en marche, le DG s'arrête.</li> </ul> <p>Température élevée de l'huile de lubrification. Le déclenchement du groupe électrogène surviendra si la température excède 95 degrés Celsius, alarme sur AN-2501#14 via 65460-TS-119#2. Il y aura aussi alarme sur AN-2501#12 via 65460-TS-119#1 dès que T &gt; 93 degrés Celsius (valeur nominale [80, 88 deg. C.]). Les causes d'une température d'huile de lubrification élevée sont:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) mauvaise ventilation dans la salle T2-101, volets 7322-F-133, F-135, F-149 et/ou F-151</li> <li>b) niveau d'huile très bas dans le carter d'huile du diésel</li> <li>c) manque de circulation ESR à l'échangeur 5467-HX-11A, HX-11B</li> <li>d) basse pression ou haute température ESR</li> <li>e) charge du diésel trop élevée</li> </ul> <p>Survitesse du moteur diésel. La détection d'une survitesse se fait par l'entremise du relais 12X, sur PL-2501A. La valeur nominale est de 900 RPM, alors que le point de consigne est &gt; 1050 RPM. Une alarme est donnée sur AN-2501#17. Cette alarme apparaîtra aussi lorsque l'on déclenche volontairement le levier d'arrêt d'urgence 5460-LEVIER-1. La cause d'une survitesse est un régulateur de vitesse défectueux.</p>

## ANNEXE C (suite)

Très basse pression d'huile. La sonde 65460-PS-116#2, dont le point de consigne est de  $P < 325$  kPar (valeur nominale  $P = 586$  kPar), donnera une alarme sur AN-2501#19. La cause d'une très basse pression d'huile est un niveau d'huile très bas dans le carter.

### Conséquences de la défaillance:

La défaillance du moteur diésel entraîne l'indisponibilité du groupe électrogène à assurer sa fonction.

Une alarme de très haute température d'eau de refroidissement (AN-2501#13) aura pour conséquences de déclencher le groupe en essai et de verrouiller la logique de démarrage.

Une alarme de très haute température d'huile de lubrification (AN-2501#14) aura pour conséquences de déclencher le groupe en essai et de verrouiller la logique de démarrage.

Une survitesse du groupe électrogène au démarrage aura pour conséquence l'arrêt mécanique du groupe et le verrouillage de la logique de démarrage.

Une survitesse du groupe électrogène chargé et seul en urgence aura pour conséquences l'arrêt mécanique du groupe et le verrouillage de la logique de démarrage.

Une alarme de très basse pression d'huile, lorsque le groupe est en essai ou en urgence, aura pour conséquence l'arrêt mécanique du groupe si la pression atteint 295 kPar.

### Moyens de détection:

Interrupteur de température TS-161 donnant une alarme sur AN-2501#3 si  $T < 35$  deg.C "Huile de lubrification, température basse".

Niveaux d'huile LI-196 et LI-197.

Indicateurs de température TI-118 et TI-150 donnant tous les deux des lectures sur le panneau local PL-1741. La perte du panneau 5343-PD-233 entraîne la perte de 65460-TI-118. Cependant, cet événement n'a aucune incidence sur le groupe électrogène.

Thermocouples TE-150 #s 1 à 18

Sondes de température 65460-TS-125 #1 et #2. Seuil de TS-125#1 est  $> 90$  degrés Celsius (valeur nominale [65, 80 deg. C.]), donnant alarme sur AN-2501#11. TS-125#2 déclenche à  $T > 96$  degrés Celsius (valeur nominale [65, 80 deg. C.]), donnant alarme sur

## ANNEXE C (suite)

AN-2501 #13.

Logique de protection, mesurage et signalisation

Des appareils de mesures au périmètre de Gentilly-2 permettent la détection de fuites de chlore.

Sondes de température 65460-TS-119#1 et TS-119#2. TS-119#1 donnera une alarme sur AN-2501#12, si  $T > 93$  degrés Celsius (valeur nominale [80, 88 deg. C.]). TS-119#2 donnera une alarme sur AN-2501#14 si  $T > 95$  degrés Celsius (valeur nominale [80, 90 deg. C.]).

Une survitesse sera détectée par le relais 12X, panneau PL-2501A, pour un point de consigne de  $> 1050$  RPM. Une alarme sera donnée sur AN-2501#17.

Une très basse pression d'huile sera détectée par 65460-PS-116#2 ( $P < 325$  kPar à 800 RPM) et donnant alarme sur AN-2501#19. À 800 RPM, 65460-PS-116#1 déclenche le groupe si  $P < 295$  kPar. À 350 RPM, 65460-PS-115#1 déclenche le groupe si  $P < 138$  kPa. À 350 RPM, 65460-PS-115#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si  $P < 148$  kPar.

**Probabilité (ou taux) de défaillance:** Toute défaillance confondue, taux de défaillance moteur seulement =  $1,7 \text{ E-}3$  / mois

chemises de cylindre, piston, roulements :  $0,27 \text{ E-}3$  / mois  
tête de moteur, joint, collet :  $0,54 \text{ E-}3$  / mois

réf. NP-5924

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Moteur diésel équipé
<b>Équipement:</b>	Pompe de combustible 54660-P-37
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique de la pompe de combustible, incluant les injecteurs et tout le circuit de combustible interne au moteur diésel, sauf les filtres.
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de cette pompe entraîne l'indisponibilité du groupe électrogène
<b>Moyens de détection:</b>	Logique de protection, mesurage et signalisation
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, tous modes confondus = $1,4 \text{ E-3}$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-11 Injectors, Engine fuel)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Moteur diésel équipé
<b>Équipement:</b>	Pompe de liquide de refroidissement 54670-P-25
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique de la pompe de liquide de refroidissement
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de cette pompe entraîne l'indisponibilité du groupe électrogène
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Logique de protection, mesurage et signalisation</p> <p>Thermostat 65460-TS-125#2 donnant une alarme sur AN-2501#13 si <math>t &gt; 96</math> deg. C (alarme très haute température). Déclenchement du groupe électrogène lorsqu'en essai en parallèle avec cat.IV.</p> <p>Thermostat 65460-TS-125#1 donnant une alarme sur AN-2501#11 si <math>t &gt; 90</math> deg. C (alarme haute température).</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = $0,65 \text{ E-3}$ / mois (50% du taux de défaillance de la motopompe électrique 54670-P-21)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Moteur diésel équipé
<b>Équipement:</b>	Pompe principale de lubrification 54640-P-33
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique de la pompe principale de lubrification
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance de cette pompe entraîne l'indisponibilité du groupe électrogène
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Logique de protection, mesurage et signalisation.</p> <p>Indicateur de pression PI-142 via PL-1741.</p> <p>Manostat de pression PS-115#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 138</math> kPa, à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-115#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 148</math> kPa "Huile très basse pression", à 350 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#1 entraîne l'arrêt de DG-1 si <math>P &lt; 295</math> kPa, à 800 RPM.</p> <p>Manostat de pression PS-116#2 donne une alarme sur AN-2501#19 si <math>P &lt; 325</math> kPa "Huile très basse pression", à 800 RPM.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $0,32 \text{ E-3} / \text{mois}$ (50% du taux de défaillance des motopompes électriques du circuit de pré-lubrification)



## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Moteur diesel équipé
<b>Équipement:</b>	Turbocompresseur 54600-TURBO-10
<b>Causes de défaillance:</b>	Défaillance mécanique du turbocompresseur
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La défaillance du turbocompresseur entraîne une forte probabilité de ne pas rencontrer le temps de couplage attribué aux charges essentielles (45 secondes).
<b>Moyens de détection:</b>	Indicateur de température TE-118#5.  Indicateur de pression PI-148 via PL-1741.  Interrupteur de température TS-172 donnant une alarme sur AN-2501#27 si $T > 93 \text{ deg.C}$ "Tubulure d'admission d'air, température haute".
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance (tous modes confondus) = $2,3 \text{ E-3 / mois}$ (réf. NP-5924 p. 2-4 Turbocharger)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Protection, mesurage et signalisation
<b>Équipement:</b>	Annonciateur local AN-2501
<b>Causes de défaillance:</b>	Perte de l'alimentation électrique 120 V c.a.( barre TA), 5342-PL-567.  Défaillance de l'annonciateur.
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	La perte de l'annonciateur local AN-2501 n'a aucune incidence sur le fonctionnement du groupe électrogène.
<b>Moyens de détection:</b>	Si une fenêtre s'allume sur AN-2501, alors une alarme s'affiche sur AN-0015#2.
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance = $0,43 \text{ E-3}$ / mois (réf. OH 86296 p. T-3.1 Annunciators - Solid State Type, taux de défaillance = $5,1 \text{ E-3}$ / an).

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Protection, mesurage et signalisation
<b>Équipement:</b>	Disjoncteur du groupe 5323-CB/E12
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Activation intempestive des dispositifs de protection</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 48 Vc.c. cat. I (circuit d'interposition), 5510-PL-553 FU-835 et FU-836</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 250 Vc.c. cat. I (barre XA) (circuit enclenchement/déclenchement), 5520-PL-1571 FU-107, FU-108, FU-109, FU-110</p> <p>Défaillance du disjoncteur</p> <p>Barres non isolées. Une alarme, sur AN-2501#22, sera donnée si la barre est non isolée. Les causes possibles sont qu'au moins un des disjoncteurs suivants est demeuré attaché à la barre : CB/E01, CB/E03, CB/E06, CB/E07, CB/E08, CB/E09, CB/E10, CB/E11.</p> <p>Discordance du relais 74-1 et du disjoncteur. Une logique défectueuse est la cause de cette défaillance. Une alarme sera donnée par AN-2501#23.</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>La défaillance du disjoncteur entraîne la défaillance du DG à fournir une alimentation électrique de 6,9 kV.</p> <p>La perte de l'alimentation électrique 250 Vc.c. cat I aura les conséquences suivantes sur le système de catégorie III de même parité :</p> <p>a) Si le groupe électrogène est en attente, alors ce dernier pourra démarrer mais son disjoncteur (CB/E12) ne pourra être enclenché électriquement.</p> <p>b) Si le groupe électrogène est en marche, alors le groupe demeure couplé à sa barre. Cependant, si un défaut survient sur le DG, celui-ci ne pourra pas déclencher par protection d'où un risque accru de dommage sur le DG impliqué.</p> <p>Une discordance entre le relais 74-1 et le disjoncteur peut compromettre la disponibilité du groupe notamment lors d'une situation de panne de catégorie IV.</p>

## ANNEXE C (suite)

**Moyens de détection:**

(Voir dispositifs de protection)

Si le disjoncteur ne se ferme pas dans les 60 secondes suivant la mise en circuit du synchroniseur automatique, le relais temporisé 48S-1 et son auxiliaire 48SX-1 déconnectent les commandes d'ajustement de tension et de vitesse.

Ils activent aussi la commande de fermeture du disjoncteur de DG-1.

Une alarme est donnée sur AN-2501#20 "Synchronisation automatique incomplète"

Le deuxième synchroniseur commande alors la fermeture du disjoncteur. Si celui-ci ne se ferme pas dans les 60 secondes suivant la mise en circuit du deuxième synchroniseur, les relais 48SS-1 et 48SSX-1 coupent le circuit de synchronisation automatique.

**Probabilité (ou taux) de défaillance:**

Taux de défaillance, tous modes confondus =  $1,9 \text{ E-3}$  / mois (réf. NP-5924 p. 2-13 Output Breaker - Associated Circuitry and Control)

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Protection, mesurage et signalisation
<b>Équipement:</b>	Dispositifs de protection
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>De nombreux dispositifs sont inclus dans ce sous-système. Nous énumérons ici les éléments-clés déclenchant les mécanismes de protection associés.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) relais de protection différentielle 87 (ph. A, B, C)</li> <li>b) relais de protection sous-fréquence 81</li> <li>c) relais de protection déséquilibre de tensions 60</li> <li>d) relais de prot. de surintensité de phase directionnelle 67</li> <li>e) relais de protection de surtensions 59 et 59A, PL-521</li> <li>f) relais de prot. surintensité de phase d'appoint 51V</li> <li>g) relais de prot. de surintensité de courant de neutre (défaut à la terre) 51N</li> <li>h) relais de prot. de surintensité de courant de neutre (défaut à la terre) 50NA</li> <li>i) relais de prot. de déséquilibre de phases (ou séquence négative) 46 et 46A</li> <li>j) relais de prot. perte du champ 40</li> <li>k) relais de prot. puissance inverse 32</li> <li>l) relais de prot. sous-tension 27A, PL-521</li> <li>m) relais de prot. perte de 250 Vc.c. 27 P1/P2, PL-521</li> <li>n) basse pression d'huile de lubrif. à basse vitesse PS-115#1</li> <li>o) basse pression d'huile de lubrif. à haute vitesse PS-116#2</li> <li>p) relais de surveillance de survitesse 12 et 12X</li> <li>q) relais de surveillance panne de démarrage 48DX</li> <li>r) eau de refroidissement très chaude TS-125#2</li> <li>s) huile de lubrif. très chaude TS-119#2</li> </ul>

## ANNEXE C (suite)

t) suppression du carter 63K et 63KX

La perte de l'alimentation électrique 40 Vc.c. de cat. II, panneau 5540-PL-617, entraîne l'indisponibilité de toute mesure (I,V,W,Vars, f) transmise en salle de commande ainsi qu'aux ordinateurs de contrôle.

**Conséquences de la défaillance:**

Les relais 32, 46, 51N, 51V et 67 déclenchent le relais de déclenchement sans verrouillage 94. Les relais 40 et 87 déclenchent les relais de déclenchement avec verrouillage 86 et 86D et le relais de déclenchement sans verrouillage 94D (au moyen du relais 86)

Le relais de déclenchement sans verrouillage 94 :

- a) déclenche le disjoncteur du groupe
- b) déclenche et verrouille l'excitation
- c) déclenche le disjoncteur du deuxième groupe (au moyen du relais 5)
- d) donne une alarme sur AN-2501#18 "Protections électriques déclenchées"

Les relais de déclenchement avec verrouillage 86 et 86D:

- a) déclenche le disjoncteur du groupe et verrouille son circuit de fermeture
- b) déclenche et verrouille l'excitation
- c) arrête le moteur diesel (bobine de rappel du relais 4)
- d) verrouille le circuit de démarrage du moteur diesel (bobine d'opération du relais 4)
- e) donne une alarme sur AN-2501#18
- f) ces deux protections électriques excitent également, au moyen du relais 86, le relais de déclenchement sans verrouillage 94D qui déclenche le disjoncteur du deuxième groupe (au moyen du relais 5)

Les dispositifs PS-115#1, PS-116#2 et les relais 12, 12X et 48DX opèrent en tout temps. Ils agissent par l'entremise des relais 86D et 94D.

Les protections TS-125#2, TS-119#2 et les relais 63K et 63KX opèrent seulement lorsque le DG marche en parallèle avec la cat. IV en période d'essai. Elles activent 86D et 94D par l'entremise d'un contact NF du relais 95Y.

Un défaut du réseau ou un défaut sur une charge interne enclenchera le signal E/C-1220, engendré par les relais 46A et 62-7. Dans le cas où le groupe est en essai, un tel défaut

## ANNEXE C (suite)

causera son arrêt (par protection électrique, ou manuel). Cette alarme risque d'être accompagnée du signal E/C-1223 (courant de neutre), engendré par les relais 50N et 62-8. Leur point de consigne est de  $\geq 8A$ . L'origine d'un tel événement est soit un défaut sur le réseau, soit un défaut sur une charge interne.

Les relais 81 et 62-4 déclencheront l'alarme sur E/C-1221, dans le cas d'une fréquence  $< 57$  Hz. La valeur nominale est de  $60 \text{ Hz} \pm 0,6$ . Une confirmation est donnée par SI-1208 sur PL-2501A. Les causes de ces alarmes peuvent être attribuées à un régulateur de vitesse défectueux ou à une surcharge du groupe.

Une panne du 250 Vc.c., détectée par l'entremise des relais 27 P1, 27 P2 et 60 entraîne l'activation de E/C-1224. Les causes de cet événement sont les suivantes:

a) fusible fondu au PL-521

b) fusible fondu au PL-1571

Une panne totale de tension au PL-1571 provoque les conséquences suivantes:

a) si le groupe est en attente, alors le groupe pourra démarrer mais ne pourra pas se raccorder automatiquement à la barre E

b) si le groupe est en marche, alors le groupe ne pourra plus se découpler automatiquement de la barre E.

### Moyens de détection:

L'activation des relais 87, 40, 46, 51N, 51V, 32, 59 et 81 engendrera un signal sur E/C-1219, groupée avec AN-2501#18.

Une alarme au relais 27 P1 signifie la perte des protections suivantes: 87, 40, 27A, 59A, 81.

Un défaut du réseau ou un défaut sur une charge interne enclenchera le signal E/C-1220, engendré par les relais 46A et 62-7.

Une alarme au relais 27 P2 signifie la perte des protections suivantes: 51N, 46, 32, 59, 46A, 50NA, 60, 51V.

Le E/C-1225 est initié chaque fois qu'une des 32 fenêtres locales, PL-2501A, devient en alarme. Ces fenêtres signalent aussi bien des défauts mécaniques qu'électriques.

La perte du 250 Vc.c. d'alimentation de la protection de DG1, PL-521, confirmée par le relais 27 P1 et/ou P2 en alarme, sera signalée par un signal sur AN-0015#2.

Une sous-tension c.a. aux bornes du groupe, confirmé par le relais 27 A, est aussi signalée sur AN-0015#2.

## ANNEXE C (suite)

Une surtension c.a. aux bornes du groupe, confirmé par le relais 59 A, est signalée sur AN-0015#2.

Une sous-fréquence, confirmée par le relais 62-4, est signalée sur AN-0015#2.

Une surintensité à séquence inverse, confirmée par le relais 62-7, est signalée sur AN-0015#2.

Un courant de neutre, confirmé par le relais 62-8, est signalé sur AN-0015#2.

Note sur les dispositifs de protection : La perte de la fonction d'un DG, suite à l'activation justifiée d'un dispositif de protection, n'est pas considérée comme une défaillance de ce dernier. En fait, le bon fonctionnement d'un dispositif de protection, lors d'une anomalie quelconque, a pour effet de placer le système dans un état stable et sécuritaire.

Ceci a pour but de limiter les dommages aux équipements et installations, ainsi que de tout préjudice au personnel ou à l'environnement, qui auraient pu résulter en l'absence de tels dispositifs de protection. Cependant, l'activation intempestive d'un dispositif de protection peut entraîner des conséquences importantes pour l'installation, les équipements, le personnel et / ou l'environnement. Nous considérerons donc l'ensemble des dispositifs de protection comme un élément occasionnant directement la défaillance d'un DG lors d'une activation intempestive.

**Probabilité (ou taux) de défaillance:** Taux de défaillance, tous modes confondus =  $2,4 \text{ E-3}$  / mois (réf. NP-5924 p. 2-9 Protective Trips)



## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Salle des DG
<b>Équipement:</b>	Système de chauffage/ventilation
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance des ventilateurs 7332-F-133 et 7332-F-135. En cas de défaillance des ventilateurs, l'opérateur peut ouvrir les portes extérieures afin de laisser pénétrer l'air extérieur.</p> <p>La température ambiante est supérieure à 40 degrés Celsius.</p> <p>La température ambiante est inférieure à 15 degrés Celsius. Les causes possibles sont que les volets 7322-F-133, 135, 149 et/ou 151 sont ouverts, ou bien que les portes sont ouvertes.</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>Selon les hypothèses posées, la défaillance du système de chauffage / ventilation n'entraîne aucune conséquence pour le groupe électrogène, sauf en ce qui concerne la température ambiante. Si cette dernière excède 40 degrés Celsius, le groupe électrogène n'atteindra pas sa puissance nominale.</p> <p>En hiver, une température &lt; 15 degrés Celsius sera détectée par 65460-TI-118#AMB sur PL-1741. Une basse température peut avoir un effet sur l'huile de lubrification, en déclenchant l'alarme de basse température d'huile de lubrification, AN-2501#3, si la température d'huile de lubrification descend sous 35 degrés Celsius. De même, une alarme de température basse d'eau de refroidissement, AN-2501#4 via 65460-TS-130#2, se déclenchera si la température de l'eau descend sous 35 degrés Celsius.</p>
<b>Moyens de détection:</b>	En hiver, une température < 15 degrés Celsius sera détectée par 65460-TI-118#AMB sur PL-1741.
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	<p>négligeable</p> <p>Probabilité estimée à 1E-6</p>

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Salle des DG
<b>Équipement:</b>	Système de protection incendie
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Le système est actionné manuellement. Il est invraisemblable que le système se déclenche sans l'intervention d'un opérateur. La principale cause de défaillance de ce système provient de l'indisponibilité du système d'eau d'incendie.</p> <p>Le risque d'incendie peut être élevé s'il y a fuite de combustible ou d'huile de lubrification à proximité du système d'échappement pendant le fonctionnement d'un groupe électrogène.</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>Le déclenchement accidentel, bien qu'improbable, du système de gicleurs pourrait occasionner des dommages importants au groupe électrogène, et causer son indisponibilité.</p> <p>Le déclenchement d'un incendie, entraînera aussi l'indisponibilité du groupe, que le système de protection soit activé ou non.</p>
<b>Moyens de détection:</b>	Alarme d'incendie
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Le déclenchement accidentel du système incendie causant une indisponibilité du groupe électrogène est improbable. Cependant, la probabilité du déclenchement d'un incendie, selon NUREG CR-2300 tableau 11-4, est d'environ $10/543 = 0,0184$ par an.

## ANNEXE C (suite)

<b>Sous-système:</b>	Synchronisation automatique
<b>Équipement:</b>	Synchrotact 65460-SY-1233
<b>Causes de défaillance:</b>	<p>Défaillance des circuits de logique : circuits synchro Auto, circuits synchro Manuel, dispositif de retenue, circuit de rappel, circuit de signalisation IL-1007 sur PL-14, circuit enclenchement (CB/E12), circuit déclenchement (CB/E12), multiplication des contacts</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 48 Vc.c. cat. I, 5510-PL-553 FU-867 et FU-868 (circuits du synchrotact)</p> <p>Défaillance de l'alim. électrique 48 Vc.c. cat. I, 5510-PL-553 FU-835 et FU-836 (circuits de logique Auto/Manuel)</p> <p>Défaillance du synchrotact.</p> <p>La défaillance de la synchronisation automatique a pour causes: a) régulateur de tension défectueux b) régulateur de vitesse défectueux c) fusion d'un fusible au secondaire du TT de la barre E</p>
<b>Conséquences de la défaillance:</b>	<p>La défaillance du synchrotact entraîne la défaillance du DG à fournir une alimentation électrique de 6,9 kV.</p> <p>Si le temps de synchronisation excède 120 secondes, alors il y a défaillance de la synchronisation automatique de relèvement.</p>
<b>Moyens de détection:</b>	<p>Protection, mesurage et signalisation</p> <p>Par l'entremise du relais 48 SX-1, si le temps de synchronisation excède 60 secondes, alors il y aura initiation de E/C-1227 groupée avec AN-2501#20. La valeur nominale est &lt; 60 secondes.</p> <p>Par l'entremise du relais 48 SSX-1, si le temps de synchronisation excède 120 secondes, alors il y aura initiation de E/C-1228. La valeur nominale est &lt; 120 secondes. (Il s'agit du circuit de synchronisation automatique de relèvement. Si le groupe électrogène ne parvient pas à la synchronisation en dedans de ce délai, alors on le considérera comme défaillant.)</p> <p>Une défaillance de la synchronisation entraînera une alarme sur E/C-1267.</p>
<b>Probabilité (ou taux) de défaillance:</b>	Taux de défaillance, tous modes confondus = $1,9 \text{ E-}3$ / mois (réf. NP-5924 p. 2-8 Governor Set Point & Synchronizing Errors)

## ANNEXE D

### Arbre de défaillance du groupe électrogène

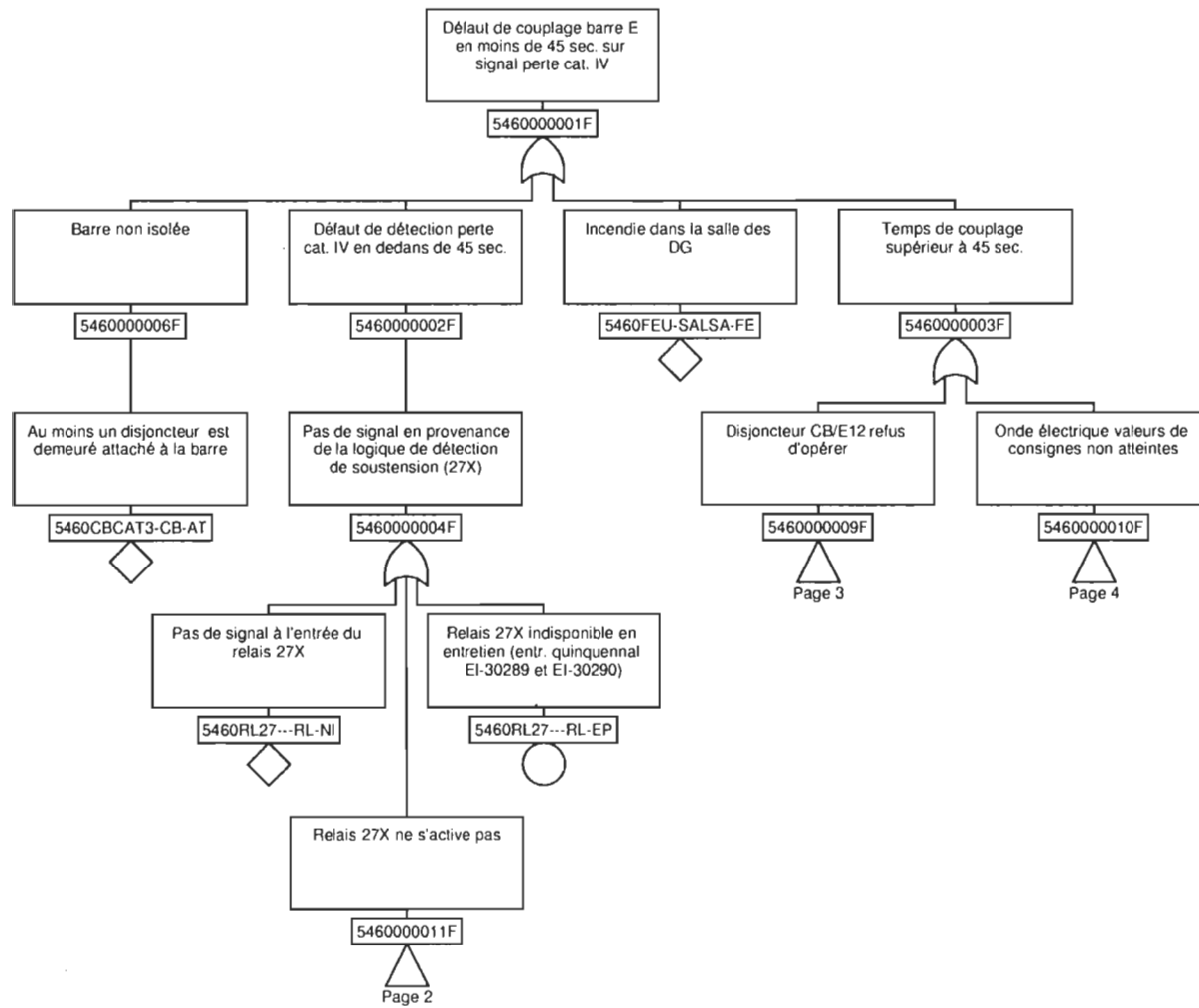
Les pages suivantes contiennent l'arbre de défaillance modélisant la fiabilité pour une mission de 45 secondes suite au signal de démarrage et la montée en vitesse du groupe électrogène.

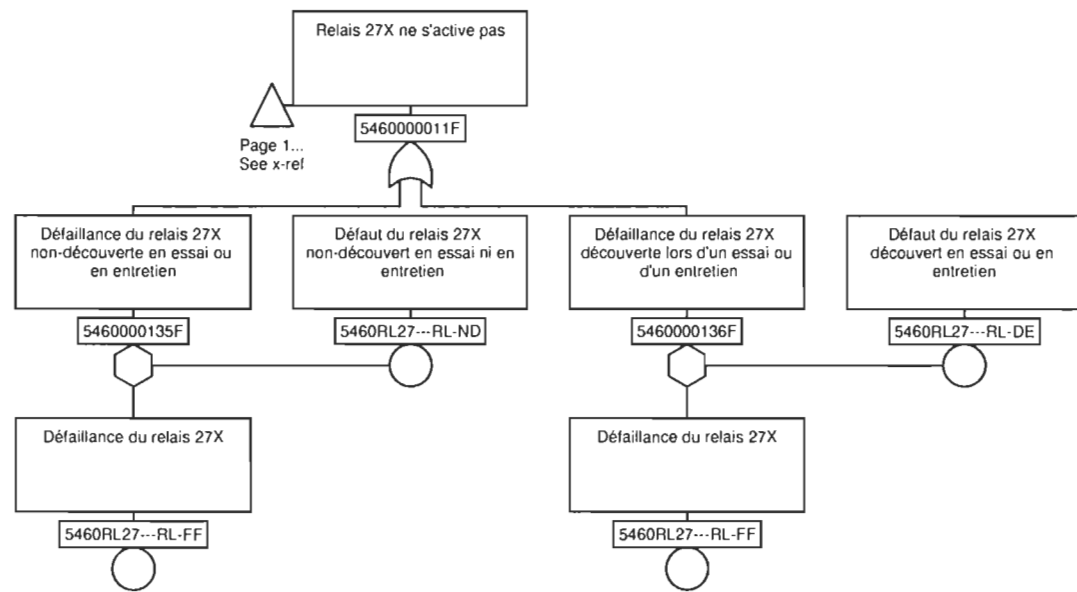
Cet arbre a été réalisé à l'aide du logiciel CAFTA for Windows, version 3.2b. Ce logiciel est spécifiquement dédié à ce genre d'analyse. En plus de la modélisation, il permet l'obtention des coupes minimales et le calcul des facteurs d'importance les plus couramment utilisés.

Le lecteur remarquera que chaque événement primaire possède un code d'identification qui lui est propre. Ce code est de la forme suivante :

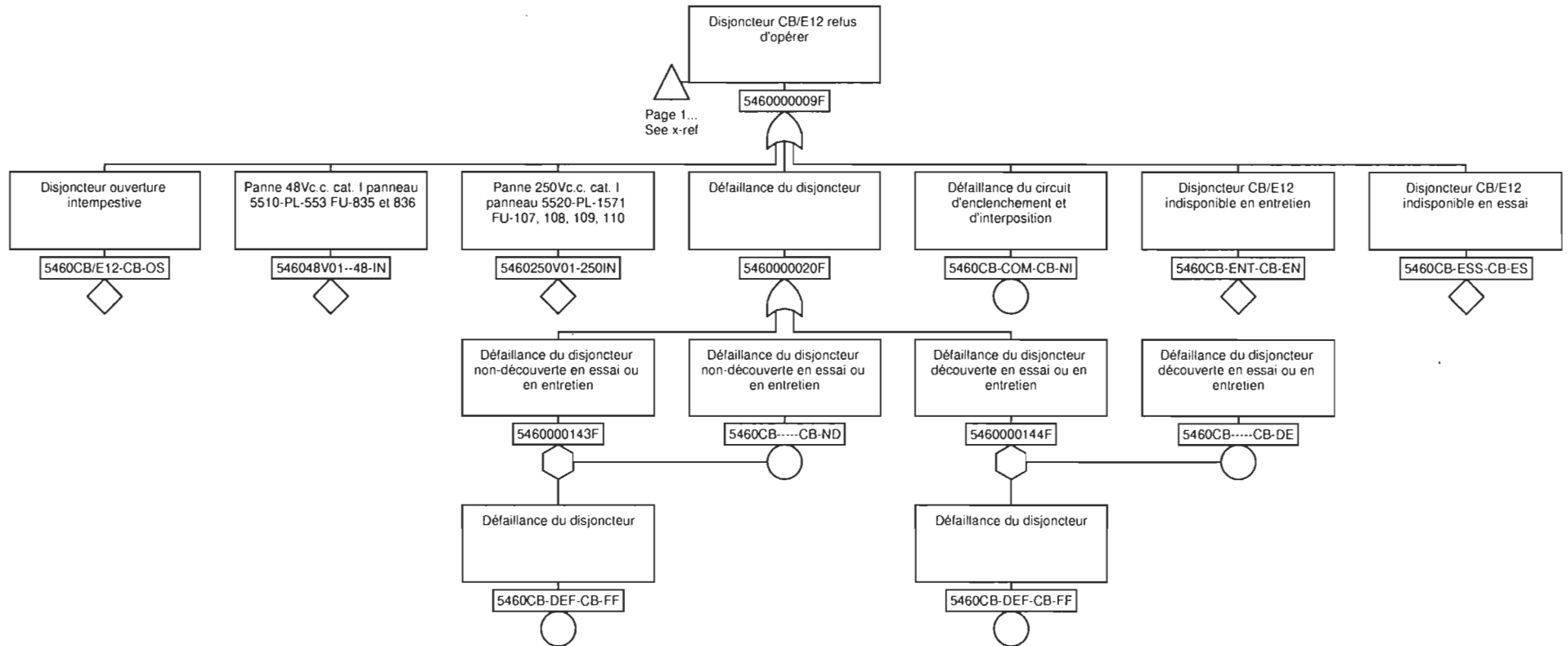
5460IDENTIXTYPMD

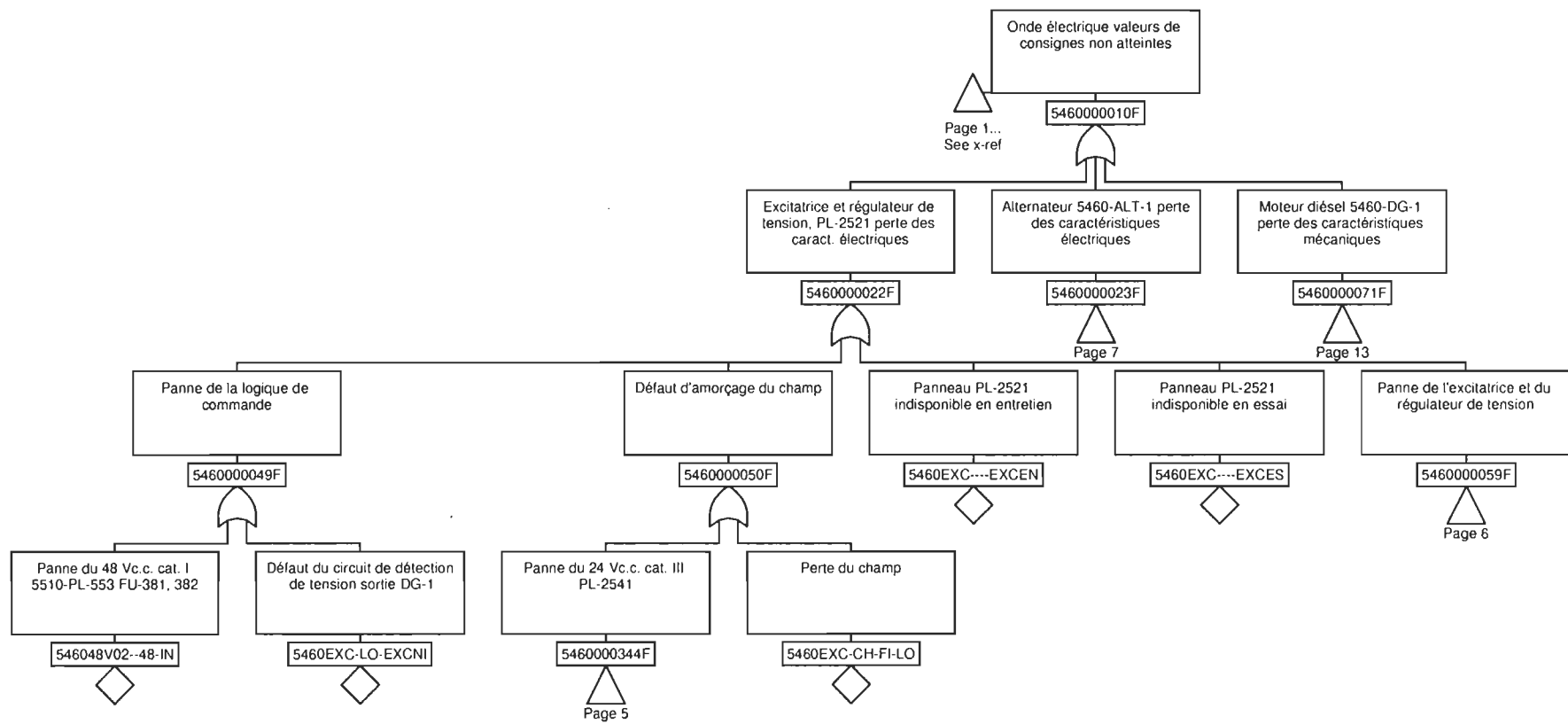
La première partie, soit 5460, sert à l'identification du système. Le numéro 5460 désigne, à la centrale nucléaire Gentilly-2, les groupes électrogènes diésel de catégorie III. La seconde partie, nommée IDENTI, est une identification abrégée de l'équipement impliqué par l'événement primaire considéré. En troisième lieu, le caractère X est souvent remplacé par un tiret pour distinguer la seconde partie de la partie TYP. Ce code alphanumérique de trois caractères désigne le type particulier d'équipement, par exemple FIL désigne tous les filtres et REL identifie un certain type de relais. Enfin, MD est mis pour le mode de défaillance de l'équipement.



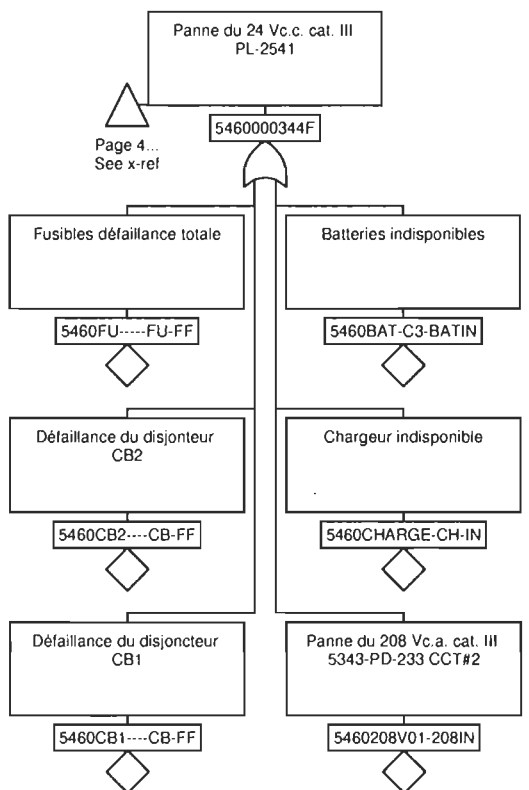


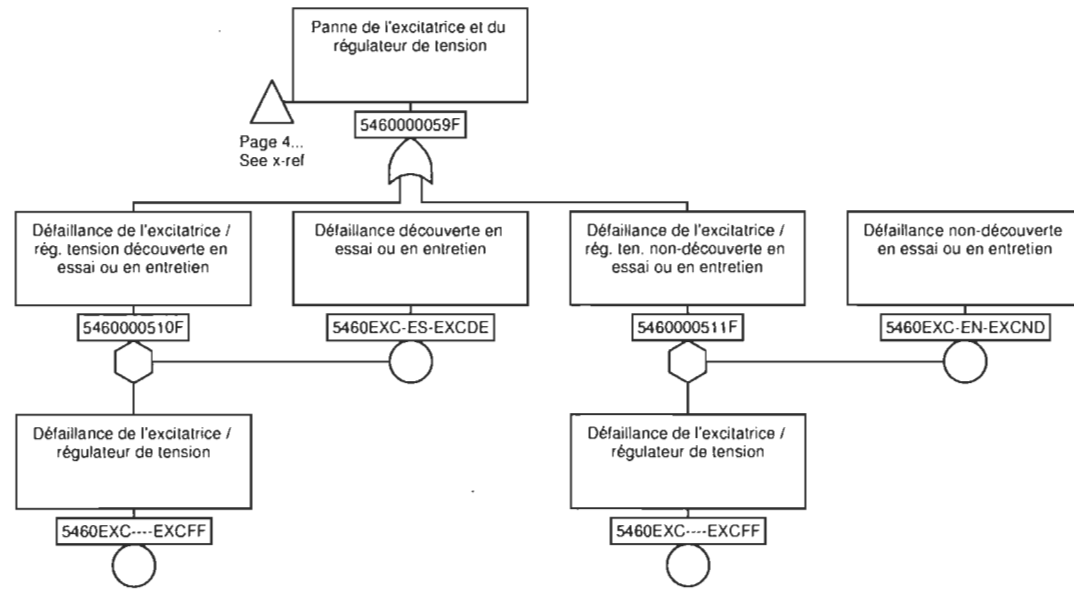
Page 1...  
See x-ref

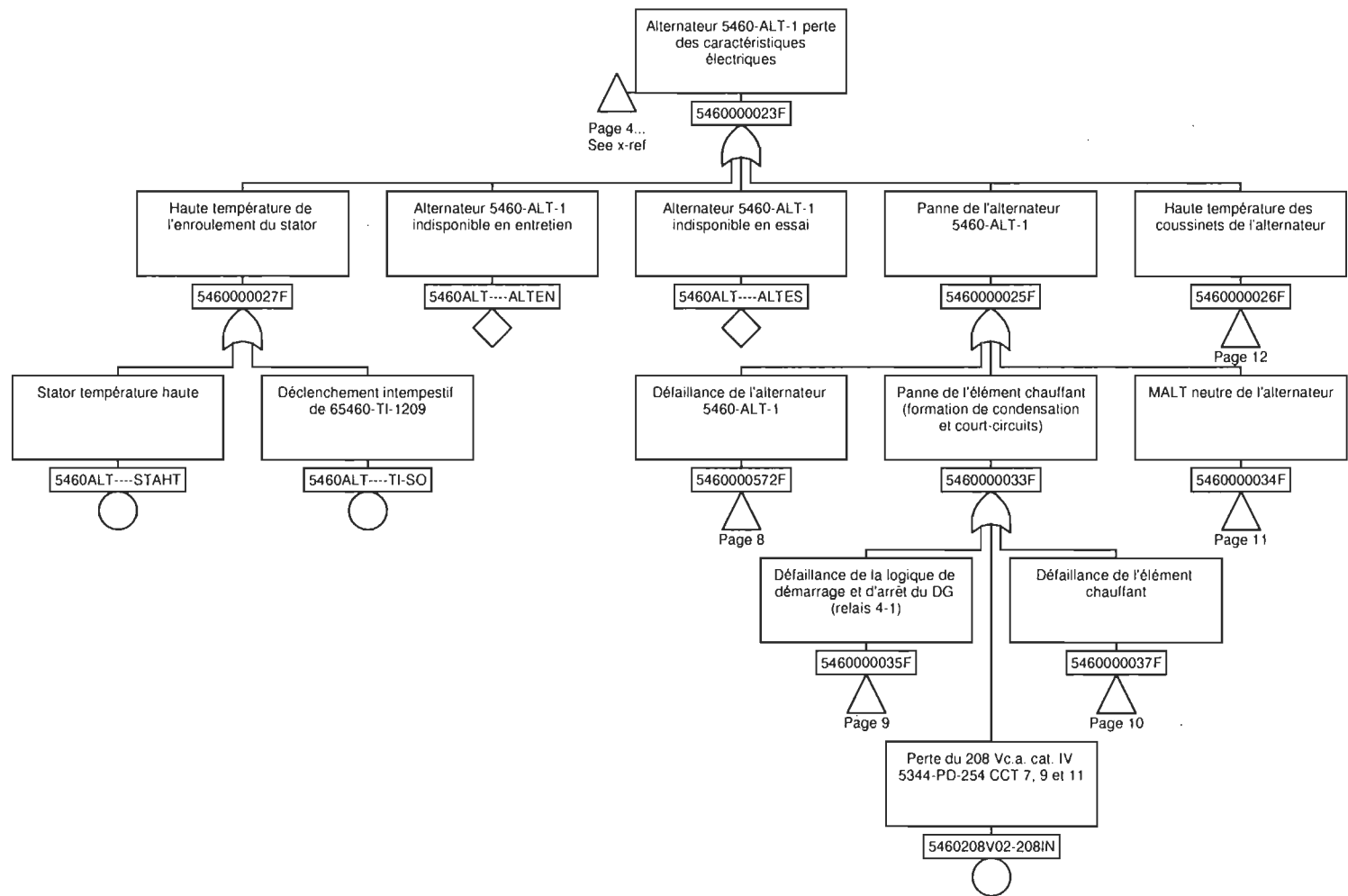


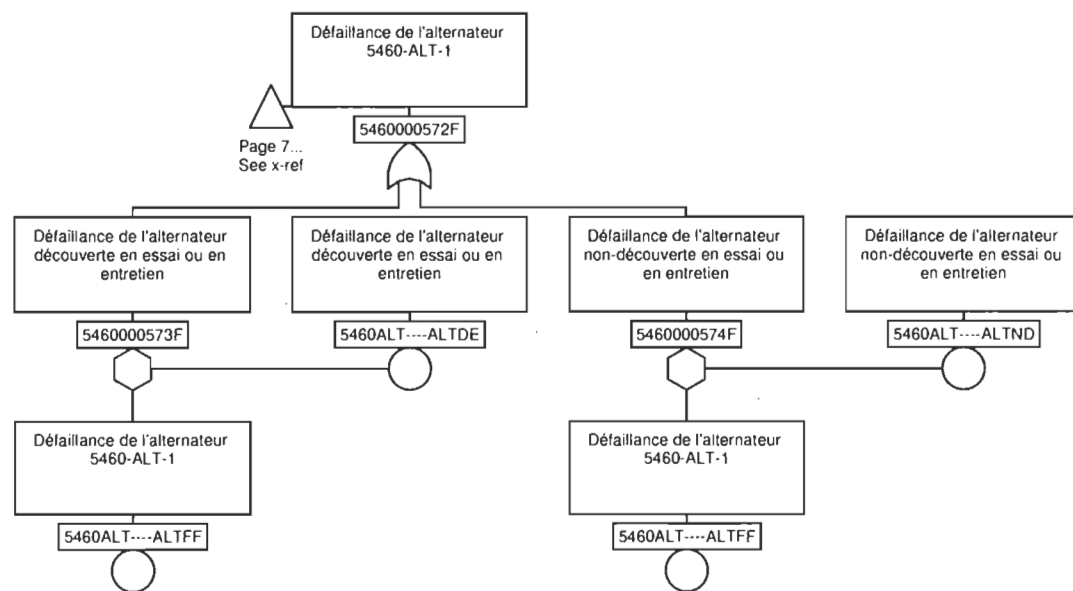


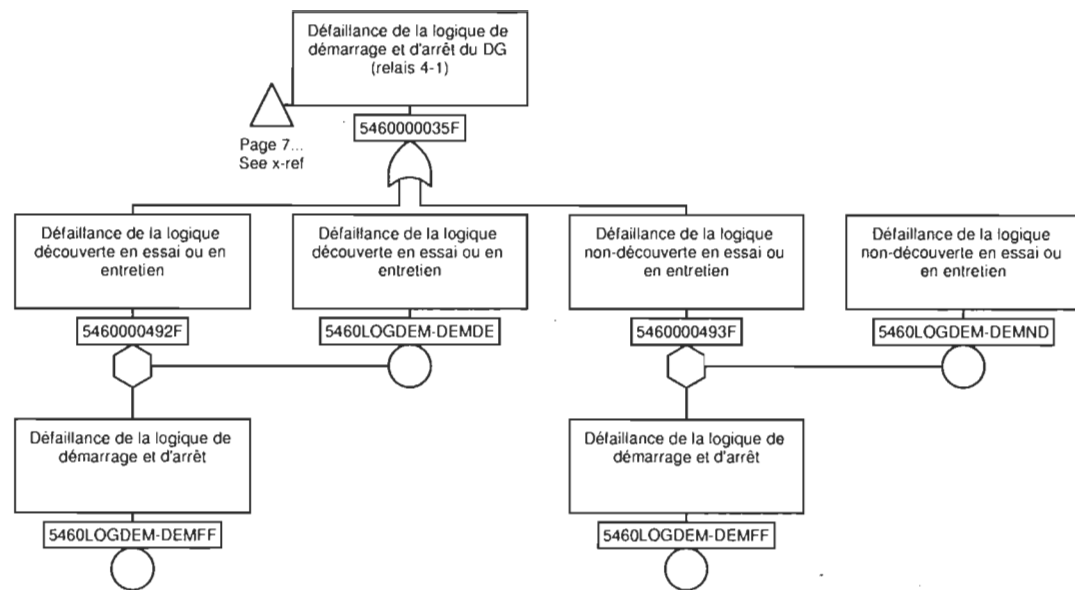


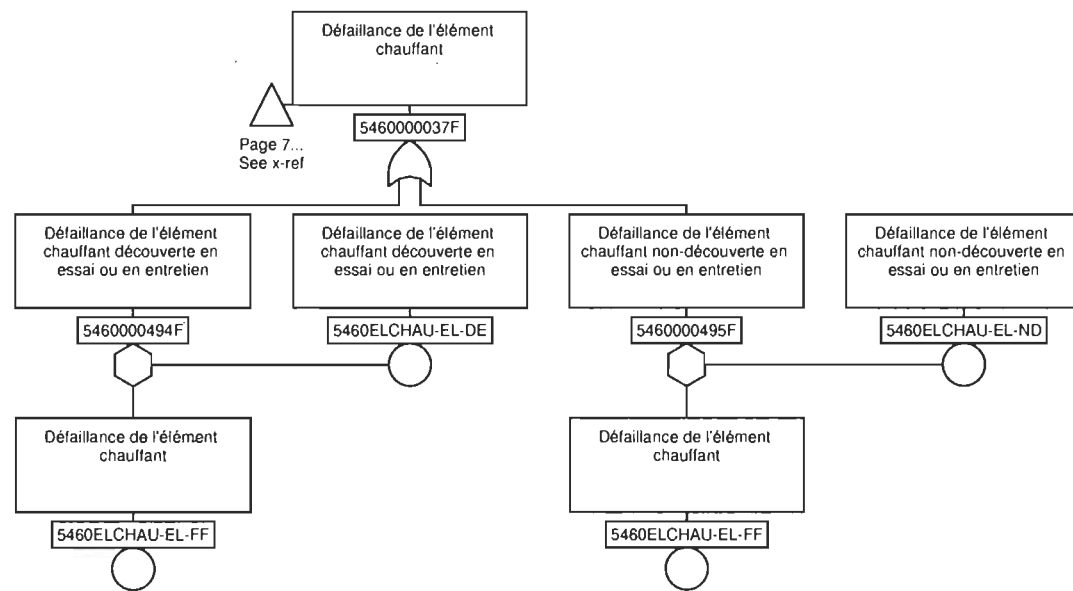


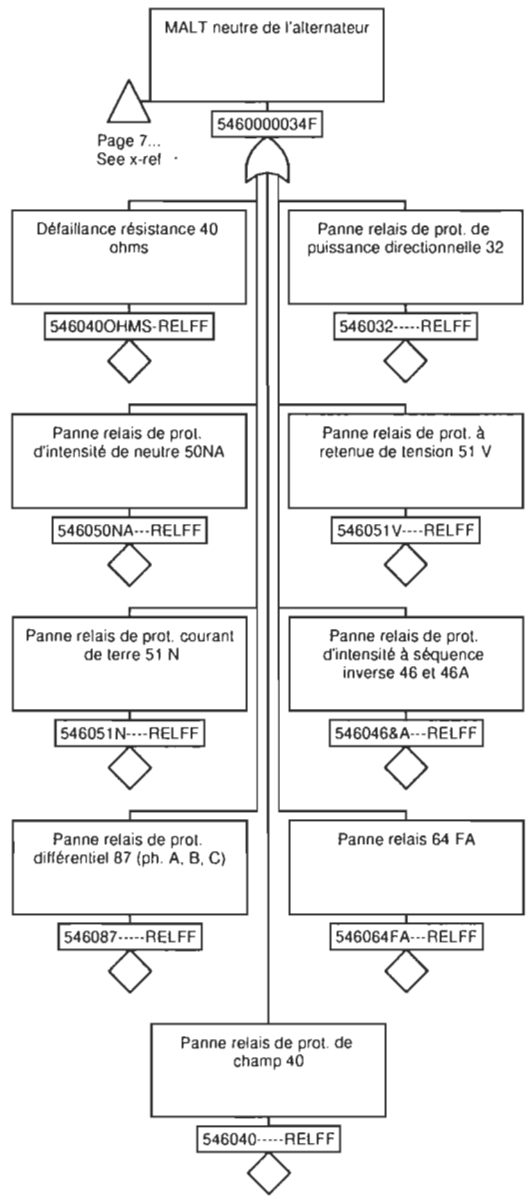




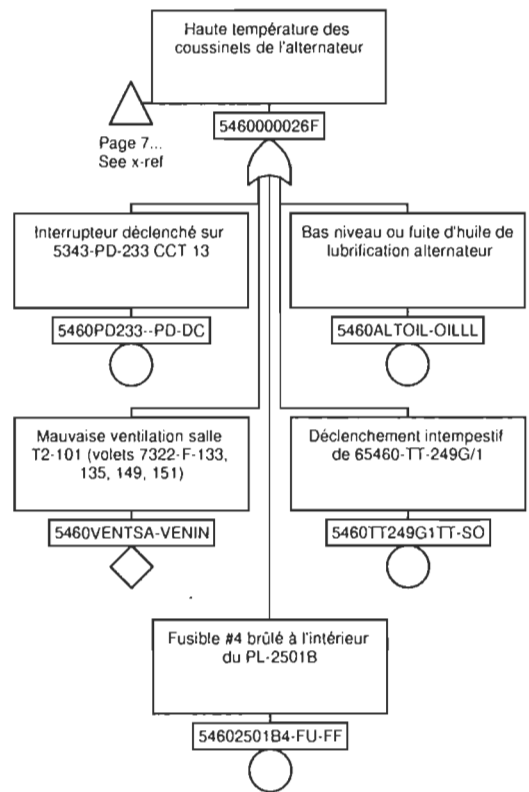




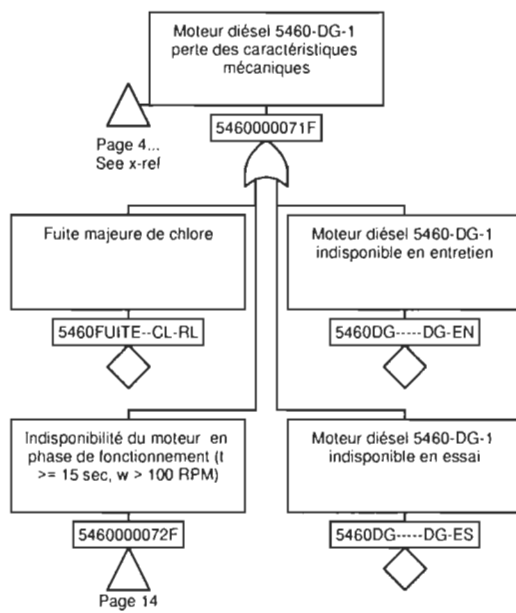


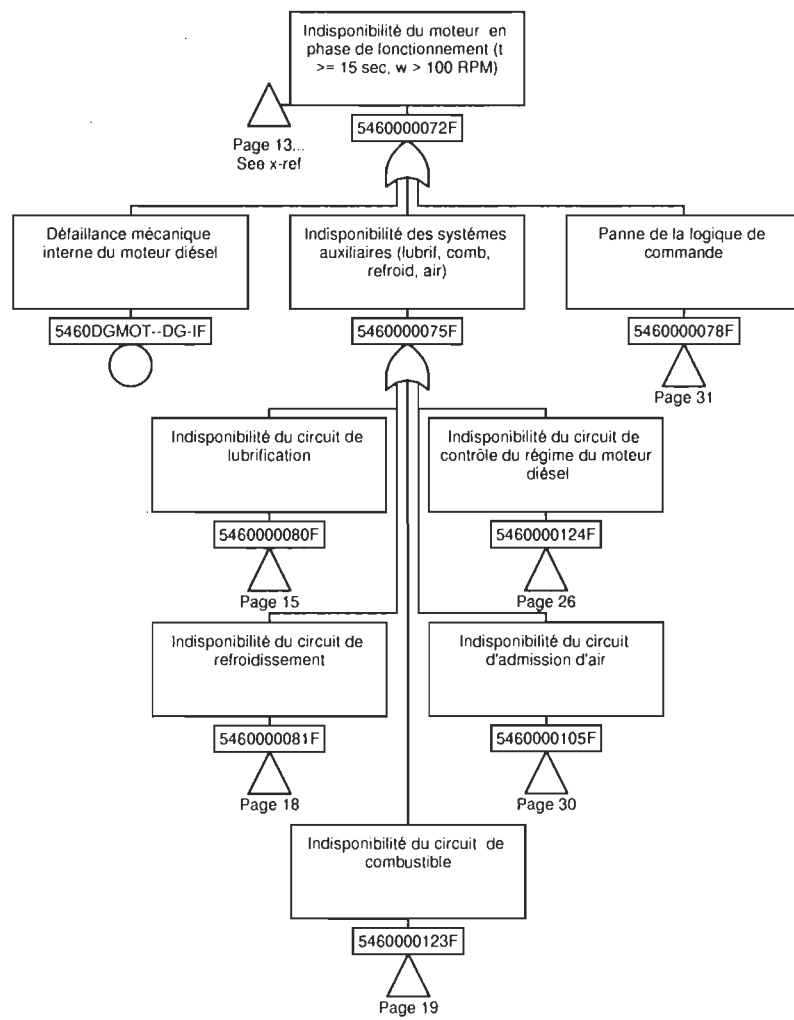


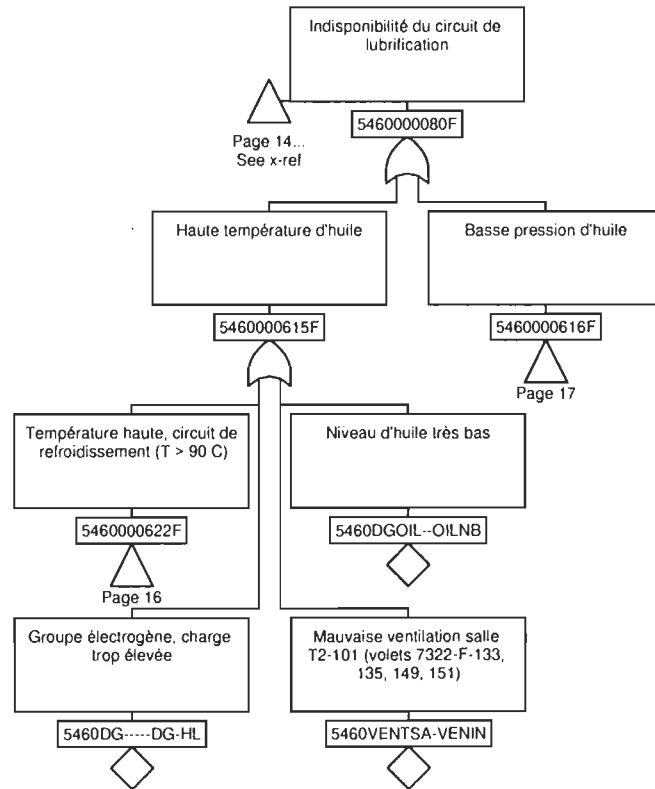
Page 7...  
See x-ref

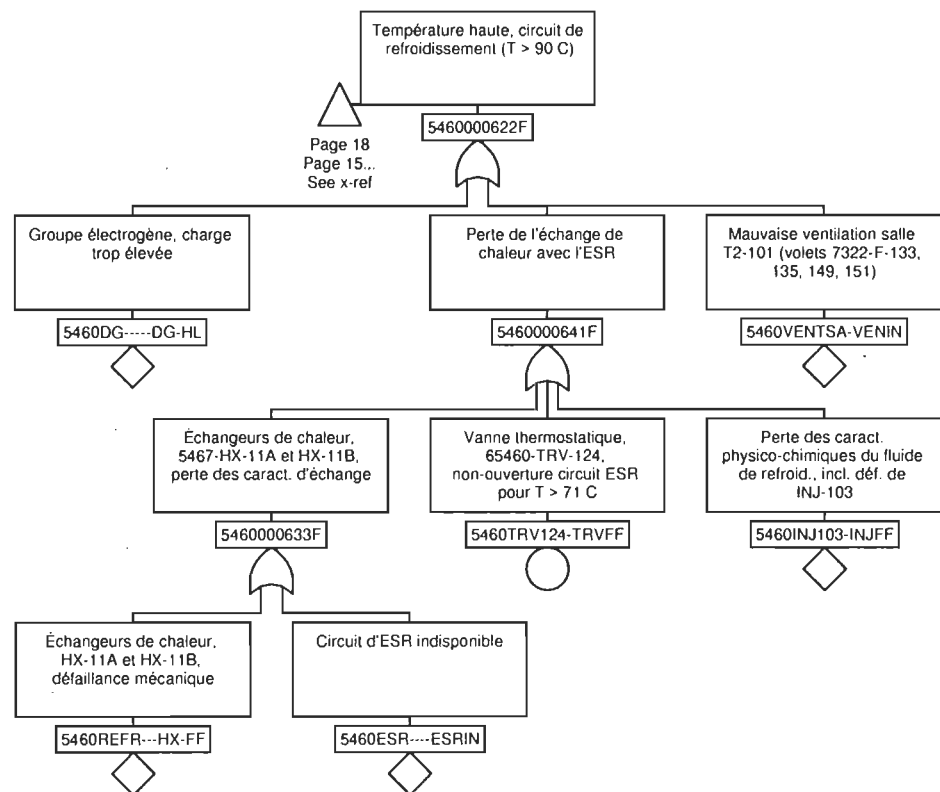


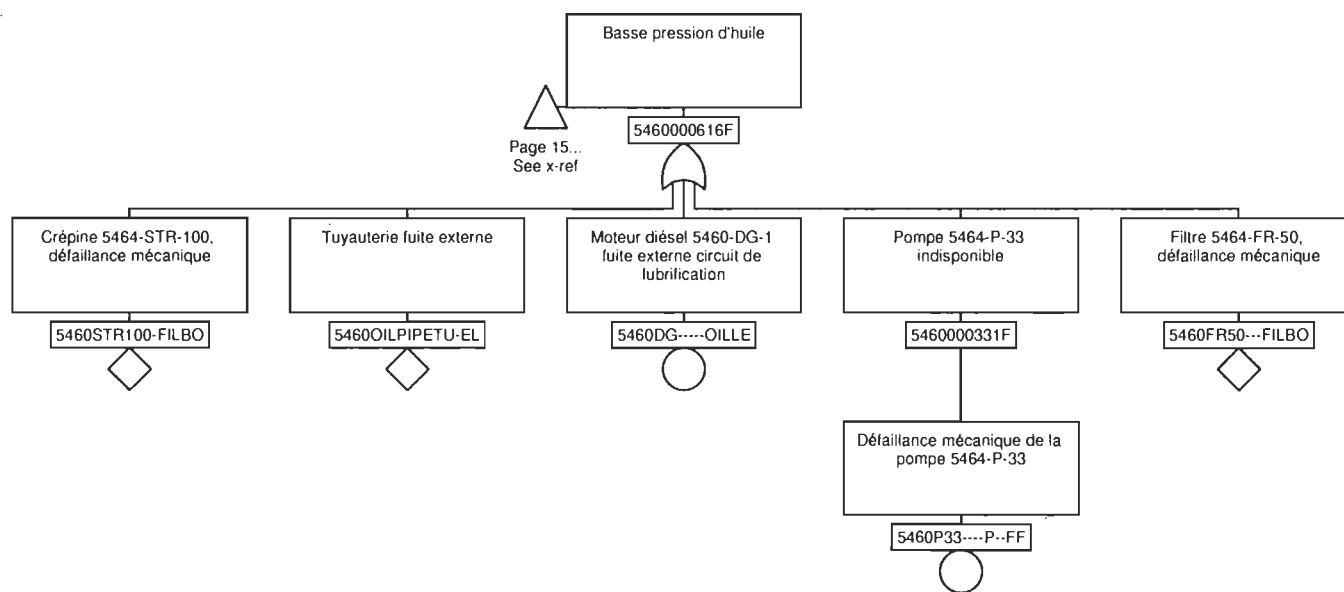


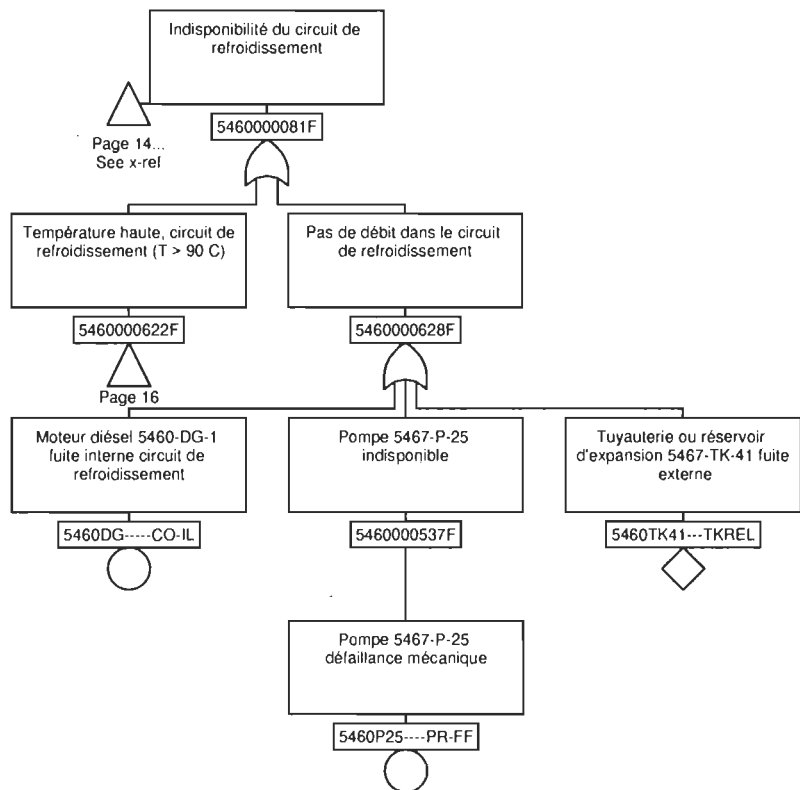


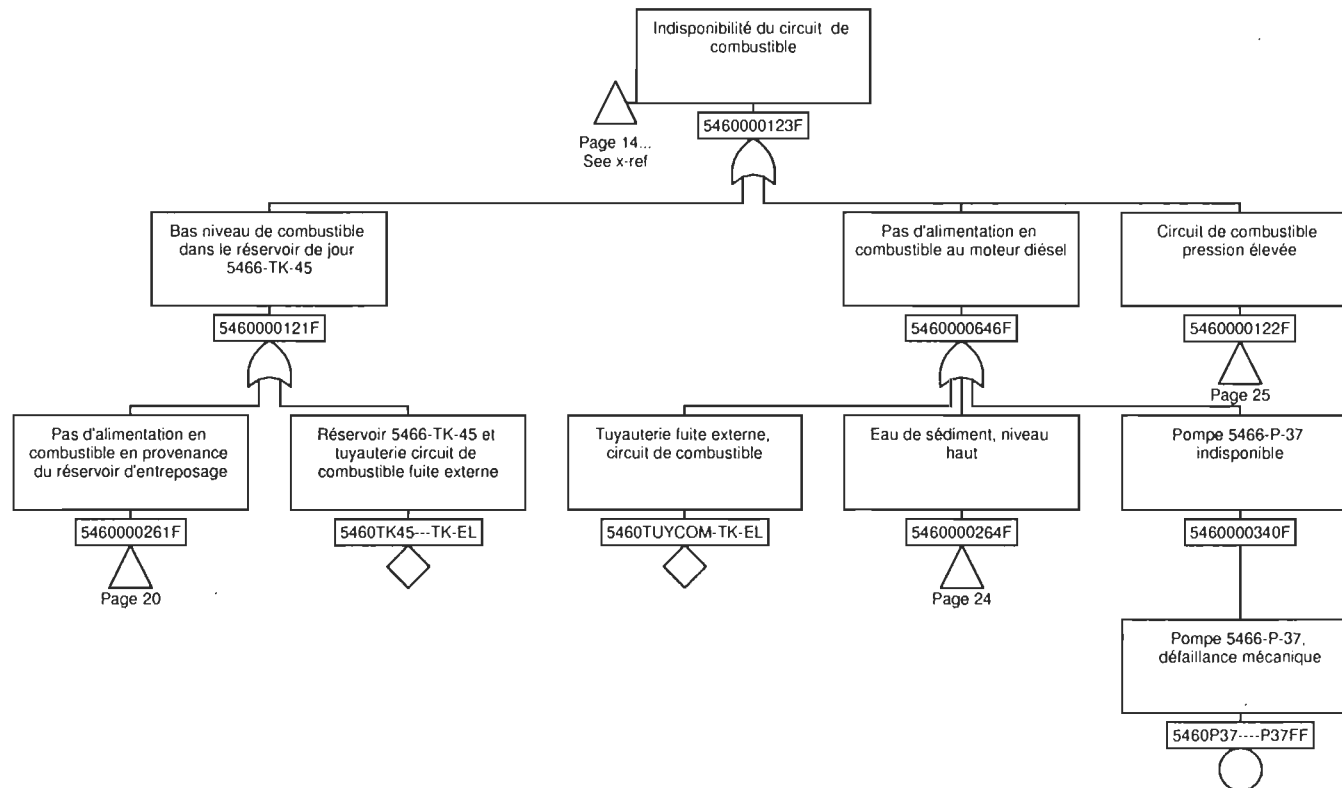


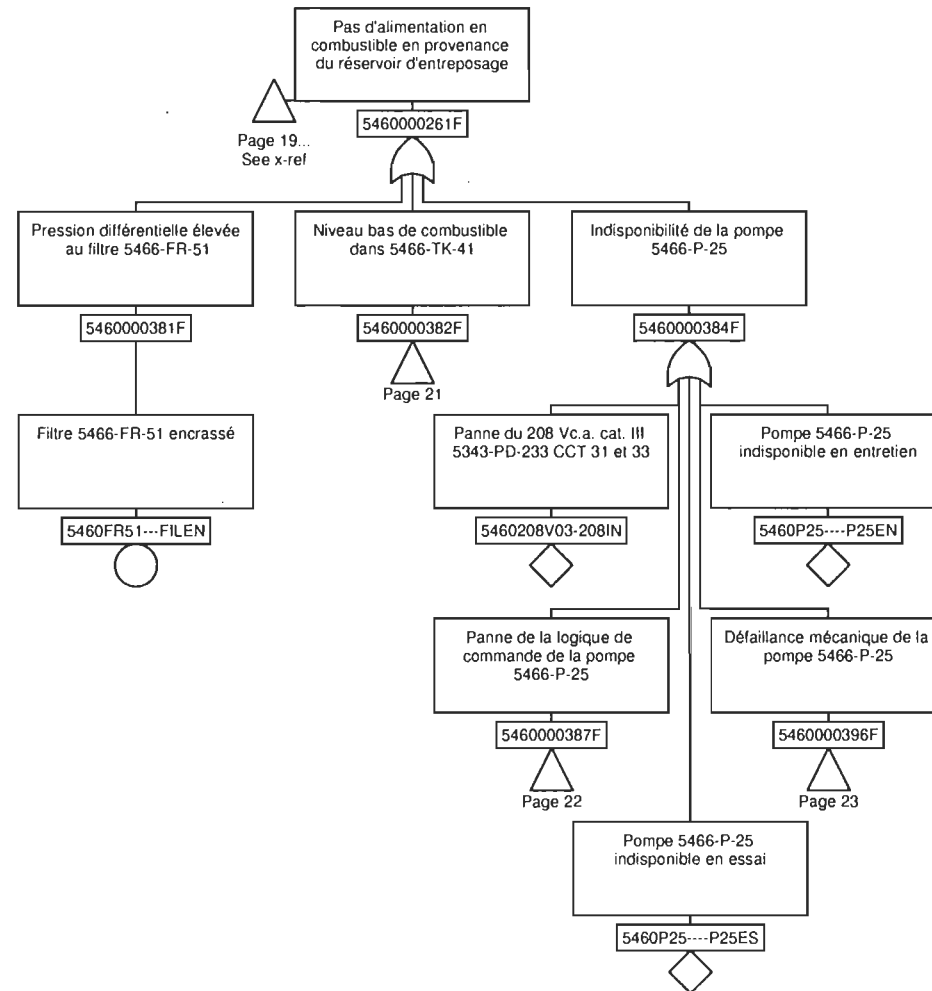




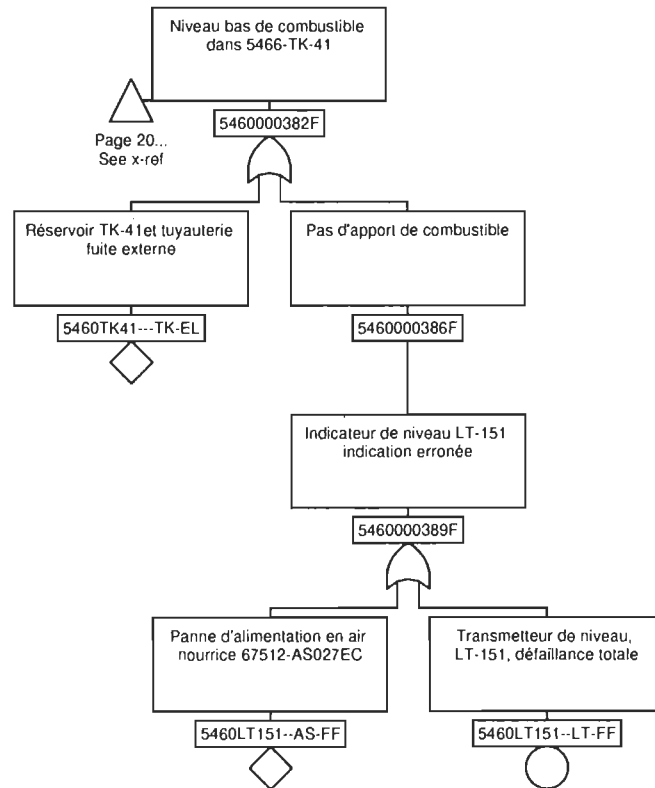


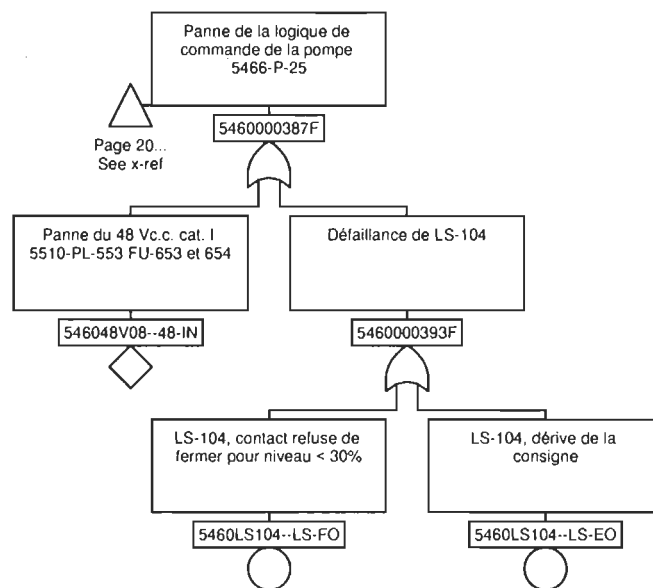


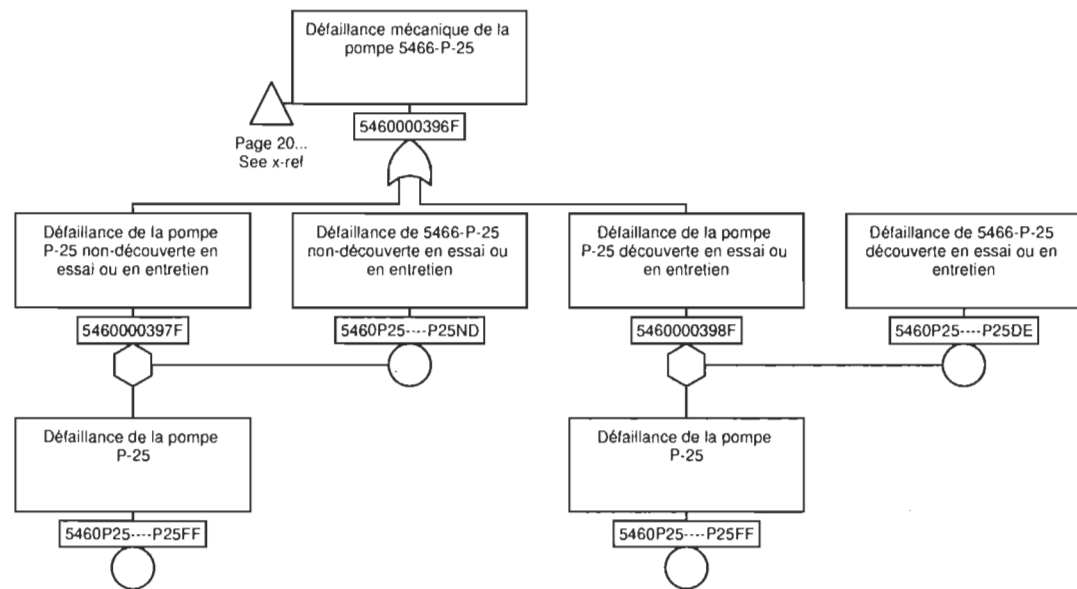


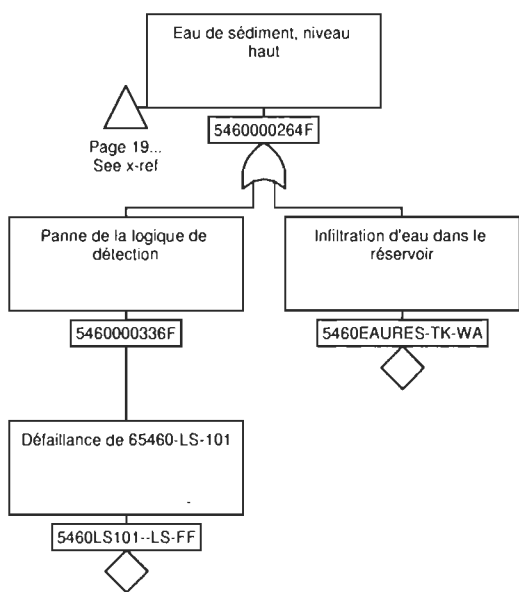


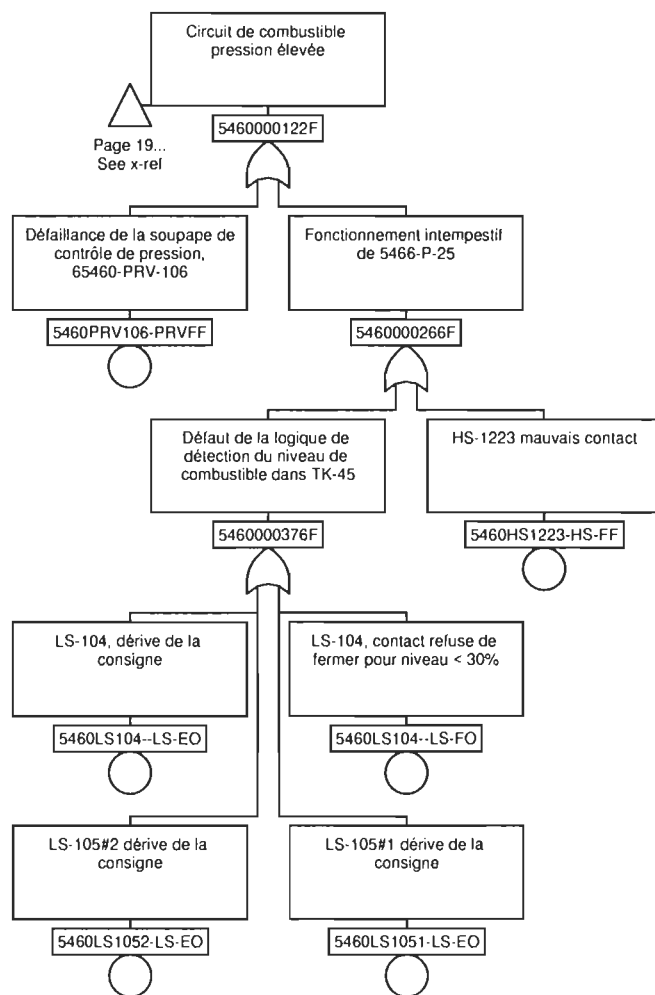


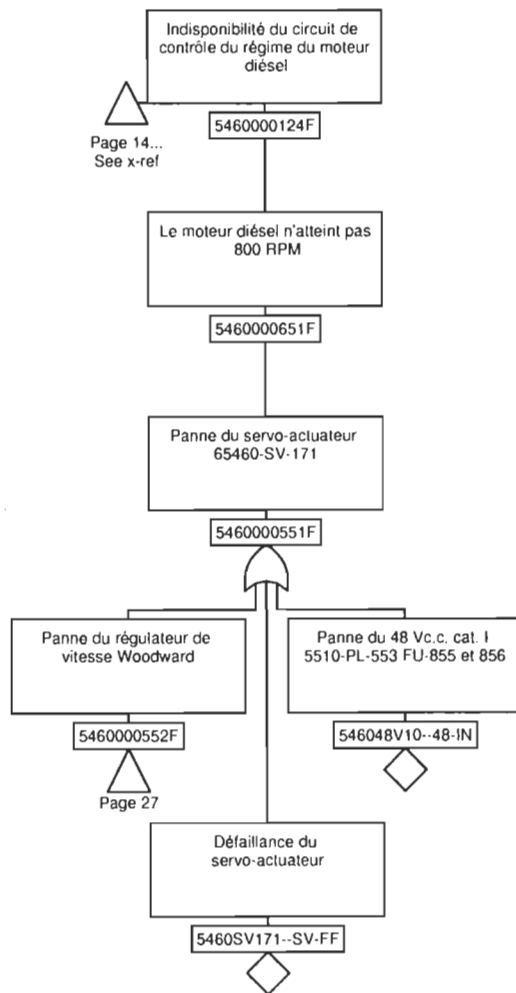


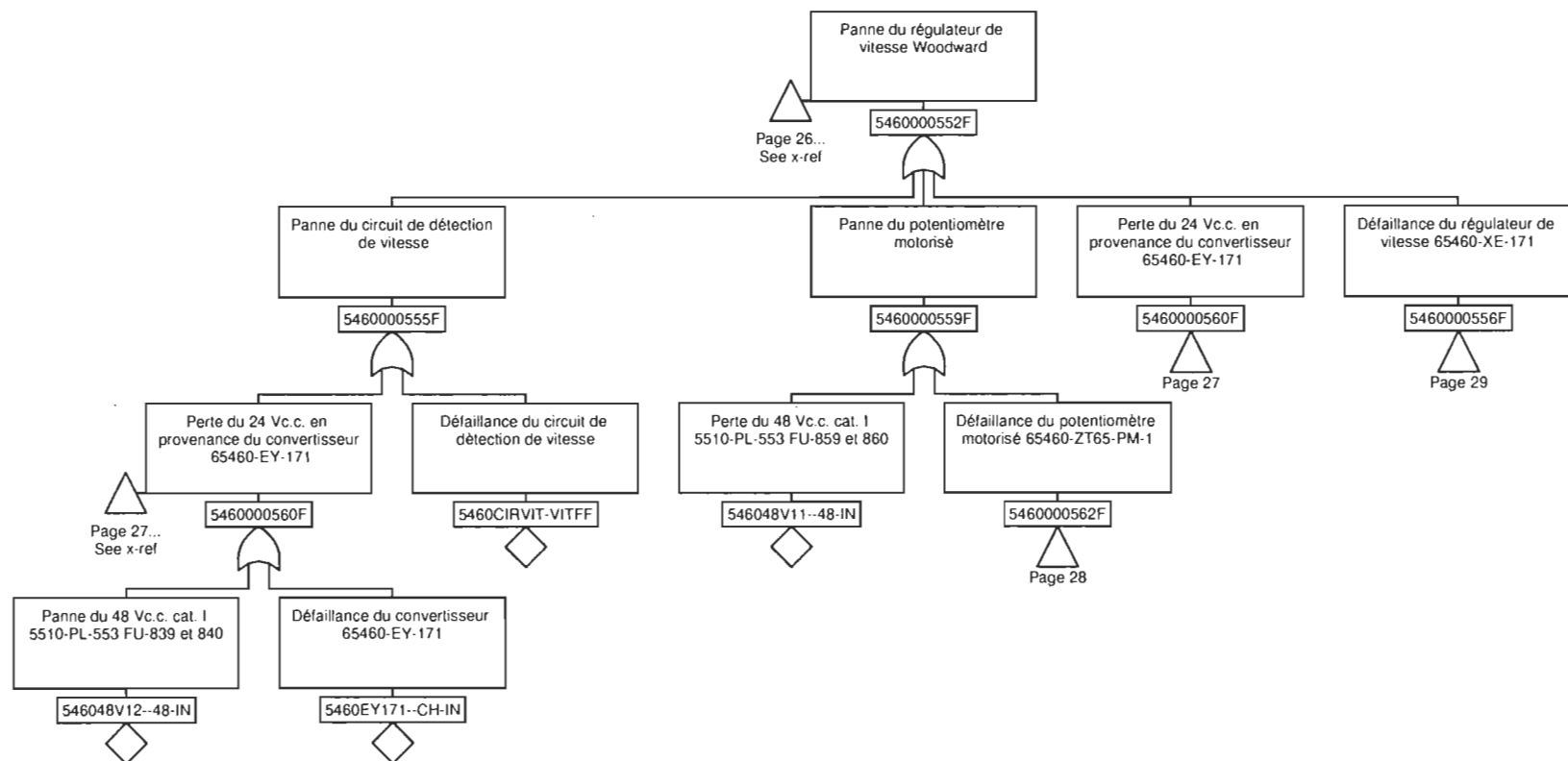


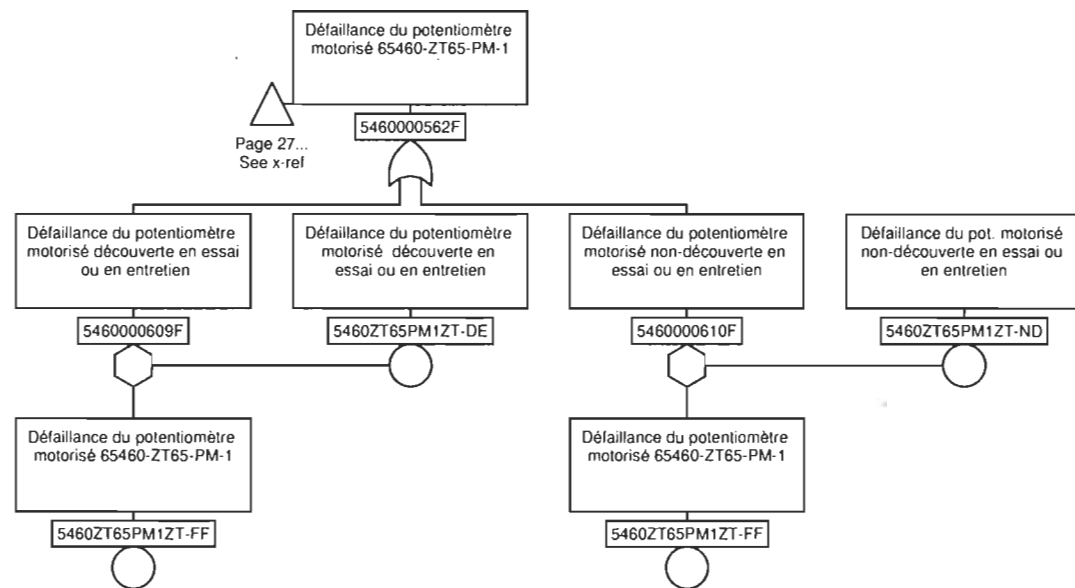




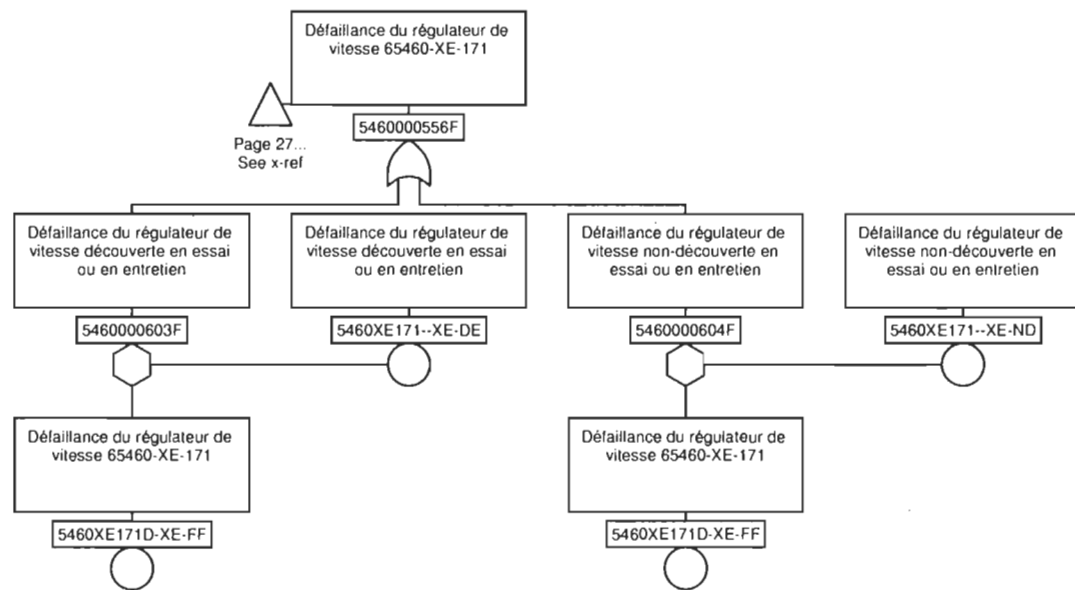


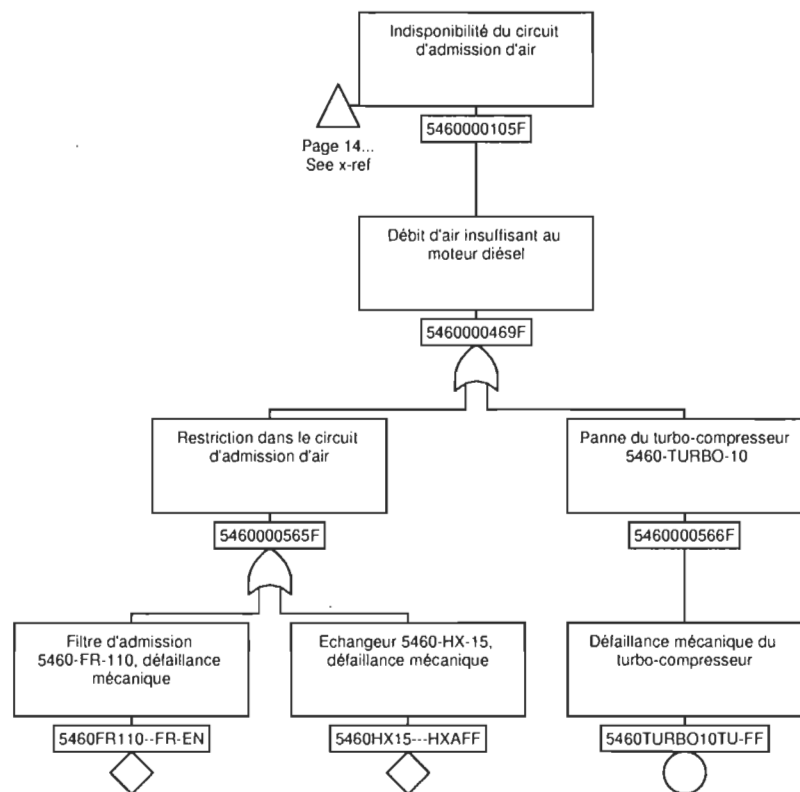


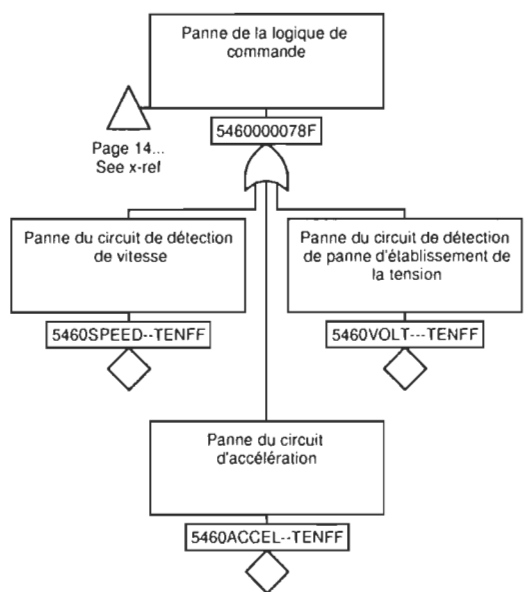












## ANNEXE E

### Facteurs d'importance de l'arbre DGA.CAF

Les facteurs d'importance ont été abordés au chapitre IV où leur utilisation a permis d'identifier les contributeurs majeurs à la défaillance du groupe électrogène diesel.

Les pages suivantes contiennent les résultats, issus de CAFTA for Windows, du calcul de ces facteurs d'importance pour tous les événements primaires de l'arbre de défaillance. Les facteurs calculés sont celui de Fussel-Vesely, identifié par FV, l'indice de Birnbaum (BI) et les indicateurs Risk Reduction Worth (RRW) et Risk Achievement Worth (RAW). Les équations mathématiques du calcul de ces facteurs d'importance sont données respectivement aux équations (4,1) à (4,4) inclusivement.

CODE	FV	BI	RRW	RAW	DESCRIPTION
54604HR1---4HRND	3.13E-04	4.10E-09	1.000	1.00	Défaillance de 5464-HR-1 non-découverte en essai ou en entretien
5460ELCHAU-EL-ND	4.70E-04	6.16E-09	1.000	1.00	Défaillance de l'élément chauffant non-découverte en essai ou en entretien
54604HR1---4HRDE	2.81E-03	4.10E-09	1.003	1.00	Défaillance de 5464-HR-1 découverte en essai ou en entretien
5460ELCHAU-EL-DE	4.23E-03	6.16E-09	1.004	1.00	Défaillance de l'élément chauffant découverte en essai ou en entretien
5460ZT65PM1ZT-DE	5.63E-03	8.21E-09	1.006	1.00	Défaillance du potentiomètre motorisé découverte en essai ou en entretien
5460XE171--XE-DE	6.10E-03	8.89E-09	1.006	1.00	Défaillance du régulateur de vitesse découverte en essai ou en entretien
54607P21---P2-DE	6.77E-03	9.87E-09	1.007	1.00	Défaillance de la pompe 5467-P-21 découverte en essai ou en entretien
5460P25----P25DE	1.02E-02	1.48E-08	1.010	1.00	Défaillance de 5466-P-25 découverte en essai ou en entretien
5460P25----P25ND	1.02E-02	1.48E-08	1.010	1.00	Défaillance de 5466-P-25 non-découverte en essai ou en entretien
5460EXC-ES-EXCDE	1.56E-02	2.28E-08	1.016	1.00	Défaillance découverte en essai ou en entretien
5460CB----CB-DE	2.97E-02	4.33E-08	1.031	1.00	Défaillance du disjoncteur découverte en essai ou en entretien
5460LOGDEM-DEMDE	2.97E-02	4.33E-08	1.031	1.00	Défaillance de la logique découverte en essai ou en entretien
5460RL27---RL-DE	3.75E-02	5.47E-08	1.039	1.00	Défaut du relais 27X découvert en essai ou en entretien
5460ZT65PM1ZT-ND	6.26E-04	8.21E-09	1.001	1.01	Défaillance du pot. motorisé non-découverte en essai ou en entretien
5460XE171--XE-ND	6.78E-04	8.89E-09	1.001	1.01	Défaillance du régulateur de vitesse non-découverte en essai ou en entretien
54607P21---P2-ND	7.53E-04	9.87E-09	1.001	1.01	Défaillance de la pompe 5467-P-21 non-découverte en essai ou en entretien
5460ALT----ALTDE	5.16E-02	7.52E-08	1.054	1.01	Défaillance de l'alternateur découverte en essai ou en entretien
5460EXC-EN-EXCND	1.74E-03	2.28E-08	1.002	1.02	Défaillance non-découverte en essai ou en entretien
5460CB----CB-ND	3.30E-03	4.33E-08	1.003	1.03	Défaillance du disjoncteur non-découverte en essai ou en entretien
5460LOGDEM-DEMND	3.30E-03	4.33E-08	1.003	1.03	Défaillance de la logique non-découverte en essai ou en entretien
5460RL27---RL-ND	4.17E-03	5.47E-08	1.004	1.04	Défaut du relais 27X non-découvert en essai ni en entretien
5460ALT----ALTND	5.73E-03	7.52E-08	1.006	1.05	Défaillance de l'alternateur non-découverte en essai ou en entretien
5460HR1----HR1FF	3.13E-03	9.10E-01	1.003	6.94E+05	Défaillance du réchauffeur 5464-HR-1
5460ELCHAU-EL-FF	4.70E-03	9.10E-01	1.005	6.94E+05	Défaillance de l'élément chauffant
5460ZT65PM1ZT-FF	6.26E-03	9.10E-01	1.006	6.94E+05	Défaillance du potentiomètre motorisé 65460-ZT65-PM-1
5460XE171D-XE-FF	6.78E-03	9.10E-01	1.007	6.94E+05	Défaillance du régulateur de vitesse 65460-XE-171
54607P21---P2-FF	7.53E-03	9.10E-01	1.008	6.94E+05	Défaillance de la pompe 5467-P-21
5460EXC----EXCFF	1.74E-02	9.10E-01	1.018	6.94E+05	Défaillance de l'excitatrice / régulateur de tension
5460CB-DEF-CB-FF	3.30E-02	9.10E-01	1.034	6.94E+05	Défaillance du disjoncteur
5460LOGDEM-DEMFF	3.30E-02	9.10E-01	1.034	6.94E+05	Défaillance de la logique de démarrage et d'arrêt
5460RL27---RL-FF	4.17E-02	9.10E-01	1.044	6.94E+05	Défaillance du relais 27X
5460ALT----ALTFF	5.73E-02	9.10E-01	1.061	6.94E+05	Défaillance de l'alternateur 5460-ALT-1
5460P25----P25FF	2.03E-02	9.90E-01	1.021	7.55E+05	Défaillance de la pompe P-25
5460CBCAT3-CB-AT	1.45E-05	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Au moins un disjoncteur est demeuré attaché à la barre
5460FUIITE--CL-RL	1.45E-05	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Fuite majeure de chlore
5460PREDEM-CODFF	1.53E-04	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Conditions de pré-démarrage non remplies
546048V03--48-IN	2.43E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-657 et FU-658
546048V06--48-IN	2.43E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-843 et 844
5460600V01-600IN	2.43E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne du 600 Vc.a. cat. IV 5354-PL-1545 CCM45/M5
5460600V02-600IN	2.43E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne du 600 Vc.a. cat. IV 5354-PL-1545 CCM45/Q2
5460600V03-600IN	2.43E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne du 600 Vc.a. cat. IV 5354-PL-1545 CCM45/P5
5460FU-----FU-FF	2.54E-04	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Fusibles défaillance totale
5460ESR----ESRIN	2.65E-05	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Circuit d'ESR indisponible
5460P25----P25ES	2.98E-04	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Pompe 5466-P-25 indisponible en essai
5460CB-ENT-CB-EN	3.31E-04	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Disjoncteur CB/E12 indisponible en entretien
5460CB-ESS-CB-ES	3.31E-05	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Disjoncteur CB/E12 indisponible en essai
5460208V01-208IN	3.65E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne du 208 Vc.a. cat. III 5343-PD-233 CCT#2
5460208V03-208IN	3.65E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne du 208 Vc.a. cat. III 5343-PD-233 CCT 31 et 33
546048V08--48-IN	3.65E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-653 et 654
546048V10--48-IN	3.65E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-855 et 856
546048V11--48-IN	3.65E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Perte du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-859 et 860
546048V12--48-IN	3.65E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-839 et 840
5460ALT----ALTES	3.81E-04	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Alternateur 5460-ALT-1 indisponible en essai
5460FR110--FR-EN	3.91E-04	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Filtre d'admission 5460-FR-110, défaillance mécanique
5460EXC----EXCES	4.13E-04	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panneau PL-2521 indisponible en essai
5460ALT----STAHT	4.35E-04	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Stator température haute
5460T2101--SA-BT	4.83E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Basse température salle T2-101
5460208V02-208IN	7.31E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Perte du 208 Vc.a. cat. IV 5344-PD-254 CCT 7, 9 et 11
5460250V01-250IN	7.31E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne 250Vc.c. cat. I panneau 5520-PL-1571 FU-107, 108, 109, 110
546048V01--48-IN	7.31E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne 48Vc.c. cat. I panneau 5510-PL-553 FU-835 et 836
546048V02--48-IN	7.31E-06	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-381, 382
5460VENTSA-VENIN	9.68E-07	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Mauvaise ventilation salle T2-101 (volets 7322-F-133, 135, 149, 151)
5460TNJ103-TNJFF	9.69E-05	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Perte des caract. physico-chimiques du fluide de refroid., incl. déf. de TNJ-103
5460RL27---RL-EP	9.91E-05	1.00E+00	1.000	7.63E+05	Relais 27X indisponible en entretien (entr. quinquennal EI-30289 et EI-30290)

CODE	FV	BI	RRW	RAW	DESCRIPTION
5460LOGDETDDTFF	1.04E-03	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Panne de la logique de détection (65460-TS-130#2 et AN-2501#4)
5460TRV124-TRVFF	1.04E-03	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Vanne thermostatique, 65460-TRV-124, non-ouverture circuit ESR pour T > 71 C
5460P21----SY-DS	1.10E-03	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Non-transmission du signal en provenance de 5467-P-21
5460STOP---SY-DS	1.10E-03	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Non-transmission du signal en provenance de 65460-SY-1208
5460P25----PR-FF	1.13E-03	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Pompe 5467-P-25 défaillance mécanique
5460P37---P37FF	1.13E-03	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Pompe 5466-P-37, défaillance mécanique
5460HS1223-HS-FF	1.45E-03	1.00E+00	1.001	7.63E+05	HS-1223 mauvais contact
54602501B4-FU-FF	5.07E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Fusible #4 brûlé à l'intérieur du PL-2501B
5460TK41A--TKAEL	5.22E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Réservoir 5465-TK-41A fuite externe
5460TRV124-TRVFO	5.22E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Non-ouverture de 65460-TRV-124 à T < 71 deg. C
5460P33----P-FF	5.48E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Défaillance mécanique de la pompe 5464-P-33
5460DG-----DG-ES	6.63E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Moteur diesel 5460-DG-1 indisponible en essai
5460HX15---HXAFF	7.85E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Echangeur 5460-HX-15, défaillance mécanique
5460ACCELD-TENFF	8.62E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Panne du circuit de détection de panne d'établissement de la tension
5460CIRDEM-TENFF	8.62E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Panne du circuit de démarrage
5460PERCA--TENFF	8.62E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Panne du circuit de détection PERCA
5460SELCOM-TENFF	8.62E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Panne du circuit de sélection poste de commande
5460SPEEDD-TENFF	8.62E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Panne du circuit de détection de panne d'établissement de la tension
5460VOLT--TENFF	8.62E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Panne du circuit de détection de panne d'établissement de la tension
5460HS1225-HS-FF	9.69E-04	1.00E+00	1.001	7.63E+05	Défaillance de 65460-HS-1225 (mauv. contact ou posit.)
5460BAT-C3-BATIN	1.56E-03	1.00E+00	1.002	7.63E+05	Batteries indisponibles
5460TUAIR--TUREL	1.56E-03	1.00E+00	1.002	7.63E+05	Tuyauterie circuit d'air comprimé, fuite externe
5460ACCEL--TENFF	1.72E-03	1.00E+00	1.002	7.63E+05	Panne du circuit d'accélération
5460SPEED--TENFF	1.72E-03	1.00E+00	1.002	7.63E+05	Panne du circuit de détection de vitesse
5460VOLT--TENFF	1.72E-03	1.00E+00	1.002	7.63E+05	Panne du circuit de détection de panne d'établissement de la tension
5460FR50D--FILBO	2.08E-03	1.00E+00	1.002	7.63E+05	Filtre bouché
5460TS121--TS-FO	2.22E-03	1.00E+00	1.002	7.63E+05	TS-121, contact refuse de fermer si T < 45 deg. C.
5460TS1301-TS-FO	2.22E-03	1.00E+00	1.002	7.63E+05	Défaillance de 65460-TS-130#1 (contact non-fermeture à T < 43 deg. C)
5460EAURES-TK-WA	2.35E-03	1.00E+00	1.002	7.63E+05	Infiltration d'eau dans le réservoir
5460OILPIPETU-EL	2.35E-03	1.00E+00	1.002	7.63E+05	Tuyauterie fuite externe
5460EXC-LO-EXCNI	2.58E-03	1.00E+00	1.003	7.63E+05	Défaut du circuit de détection de tension sortie DG-1
5460P25----P25EN	2.98E-03	1.00E+00	1.003	7.63E+05	Pompe 5466-P-25 indisponible en entretien
5460ALT---TI-SO	3.13E-03	1.00E+00	1.003	7.63E+05	Declenchement intempestif de 65460-TI-1209
5460STR100-FILBO	3.13E-03	1.00E+00	1.003	7.63E+05	Crépine 5464-STR-100, défaillance mécanique
5460TT249GTT-SO	3.13E-03	1.00E+00	1.003	7.63E+05	Declenchement intempestif de 65460-TT-249G/I
5460ALTOIL-OILL	3.30E-03	1.00E+00	1.003	7.63E+05	Bas niveau ou fuite d'huile de lubrification alternateur
5460ALT----ALTEN	3.81E-03	1.00E+00	1.004	7.63E+05	Alternateur 5460-ALT-1 indisponible en entretien
5460FR51---FILEN	3.91E-03	1.00E+00	1.004	7.63E+05	Filtre 5466-FR-51 encrassé
5460SV171--SV-FF	3.91E-03	1.00E+00	1.004	7.63E+05	Défaillance du servo-actuateur
5460EXC---EXCEN	4.13E-03	1.00E+00	1.004	7.63E+05	Panneau PL-2521 indisponible en entretien
5460LT151--AS-FF	4.16E-03	1.00E+00	1.004	7.63E+05	Panne d'alimentation en air nourrice 67512-AS027EC
5460TK41D--TKREL	4.17E-03	1.00E+00	1.004	7.63E+05	Tuyauterie ou réservoir d'expansion 5467-TK-41 fuite externe
5460FR50---FILBO	4.19E-03	1.00E+00	1.004	7.63E+05	Filtre 5464-FR-50, défaillance mécanique
5460LS104--LS-EO	4.57E-03	1.00E+00	1.005	7.63E+05	LS-104, dérive de la consigne
5460LS1051-LS-EO	4.57E-03	1.00E+00	1.005	7.63E+05	LS-105#1 dérive de la consigne
5460LS1052-LS-EO	4.57E-03	1.00E+00	1.005	7.63E+05	LS-105#2 dérive de la consigne
5460RL27---RL-NI	4.65E-03	1.00E+00	1.005	7.63E+05	Pas de signal à l'entrée du relais 27X
5460DGD---CO-IL	4.93E-03	1.00E+00	1.005	7.63E+05	Moteur diesel 5460-DG-1 fuite interne circuit de refroidissement
5460DGD---OILLE	5.27E-03	1.00E+00	1.005	7.63E+05	Moteur diesel 5460-DG-1 fuite externe circuit de lubrification
5460CHARGE-CH-IN	6.34E-03	1.00E+00	1.006	7.63E+05	Chargeur indisponible
5460EY171--CH-IN	6.34E-03	1.00E+00	1.006	7.63E+05	Défaillance du convertisseur 65460-EY-171
5460DG-----DG-EN	6.63E-03	1.00E+00	1.007	7.63E+05	Moteur diesel 5460-DG-1 indisponible en entretien
5460PRV106-PRVFF	6.88E-03	1.00E+00	1.007	7.63E+05	Défaillance de la soupape de contrôle de pression, 65460-PRV-106
5460FS120--FS-FO	7.24E-03	1.00E+00	1.007	7.63E+05	FS-120, contact refuse de fermer si P < 15 kPa
5460TK41---TKREL	8.39E-03	1.00E+00	1.008	7.63E+05	Tuyauterie ou réservoir d'expansion 5467-TK-41 fuite externe
5460LS104--LS-FO	8.69E-03	1.00E+00	1.009	7.63E+05	LS-104, contact refuse de fermer pour niveau < 30%
5460DGMOTD-DG-IF	9.84E-03	1.00E+00	1.010	7.63E+05	Défaillance mécanique interne du moteur diesel
5460DG---CO-IL	9.91E-03	1.00E+00	1.010	7.63E+05	Moteur diesel 5460-DG-1 fuite interne circuit de refroidissement
5460TUYCOMDTK-EL	1.04E-02	1.00E+00	1.011	7.63E+05	Réservoir et tuyauterie fuite externe
5460CB/E12-CB-OS	1.05E-02	1.00E+00	1.011	7.63E+05	Disjoncteur ouverture intempestive
5460DG-----DG-HL	1.06E-02	1.00E+00	1.011	7.63E+05	Groupe électrogène, charge trop élevée
5460DG-----OILLE	1.06E-02	1.00E+00	1.011	7.63E+05	Moteur diesel 5460-DG-1 fuite externe circuit de lubrification
5460PD233--PD-DC	1.10E-02	1.00E+00	1.011	7.63E+05	Interrupteur déclenché sur 5343-PD-233 CCT 13
5460REFR---HX-FF	1.16E-02	1.00E+00	1.012	7.63E+05	Echangeurs de chaleur, HX-11A et HX-11B, défaillance mécanique
5460TK41---TK-EL	1.56E-02	1.00E+00	1.016	7.63E+05	Réservoir TK-41 et tuyauterie fuite externe

CODE	FV	BI	RRW	RAW	DESCRIPTION
5460TK45---TK-EL	1.56E-02	1.00E+00	1.016	7.63E+05	Réservoir 5466-TK-45 et tuyauterie circuit de combustible fuite externe
5460CB1----CB-FF	1.65E-02	1.00E+00	1.017	7.63E+05	Défaillance du disjoncteur CB1
5460CB2----CB-FF	1.65E-02	1.00E+00	1.017	7.63E+05	Défaillance du disjoncteur CB2
5460CIRVIT-VITFF	1.65E-02	1.00E+00	1.017	7.63E+05	Défaillance du circuit de détection de vitesse
5460EXC-CH-FI-LO	1.74E-02	1.00E+00	1.018	7.63E+05	Perte du champ
5460DGMOT--DG-IF	1.98E-02	1.00E+00	1.020	7.63E+05	Défaillance mécanique interne du moteur diésel
5460TURBO10TU-FF	2.00E-02	1.00E+00	1.020	7.63E+05	Défaillance mécanique du turbo-compresseur
546032-----RELFF	2.06E-02	1.00E+00	1.021	7.63E+05	Panne relais de prot. de puissance directionnelle 32
546040-----RELFF	2.06E-02	1.00E+00	1.021	7.63E+05	Panne relais de prot. de champ 40
546040OHMS-RELFF	2.06E-02	1.00E+00	1.021	7.63E+05	Défaillance résistance 40 ohms
546046&A---RELFF	2.06E-02	1.00E+00	1.021	7.63E+05	Panne relais de prot. d'intensité à séquence inverse 46 et 46A
546050NA---RELFF	2.06E-02	1.00E+00	1.021	7.63E+05	Panne relais de prot. d'intensité de neutre 50NA
546051N---RELFF	2.06E-02	1.00E+00	1.021	7.63E+05	Panne relais de prot. courant de terre 51 N
546051V---RELFF	2.06E-02	1.00E+00	1.021	7.63E+05	Panne relais de prot. à retenue de tension 51 V
546064FA---RELFF	2.06E-02	1.00E+00	1.021	7.63E+05	Panne relais 64 FA
546087-----RELFF	2.06E-02	1.00E+00	1.021	7.63E+05	Panne relais de prot. différentiel 87 (ph. A, B, C)
5460TUYCOM-TK-EL	2.09E-02	1.00E+00	1.021	7.63E+05	Tuyauterie fuite externe, circuit de combustible
5460DGOIL--OILNB	2.21E-02	1.00E+00	1.023	7.63E+05	Niveau d'huile très bas
5460FEU-SALSA-FE	2.61E-02	1.00E+00	1.027	7.63E+05	Incendie dans la salle des DG
5460LT151--LT-FF	2.75E-02	1.00E+00	1.028	7.63E+05	Transmetteur de niveau, LT-151, défaillance totale
5460LS101--LS-FF	3.33E-02	1.00E+00	1.034	7.63E+05	Défaillance de 65460-LS-101
5460CB-COM-CB-NI	6.52E-02	1.00E+00	1.070	7.63E+05	Défaillance du circuit d'enclenchement et d'interposition

## ANNEXE F

### Critères relatifs aux essais pour une fiabilité au démarrage de 95%

Cette annexe s'inspire du document NUREG/CR-5078 (1988), cité en référence, en ce qui a trait à l'interprétation de la condition du groupe et aux actions à entreprendre en fonction du nombre de défaillances qui surviennent lors des essais périodiques.

Cette interprétation se base essentiellement sur le nombre de défaillances qui sont survenues dans les 20, 50 et 100 derniers essais. Dépendamment de la progression des défaillances, des mesures correctives sont suggérées. Ces mesures consistent surtout en des activités de surveillance, comprenant soit des rondes d'opérateur, soit des prises de mesures, soit des essais de fonctionnement de tout ou partie du groupe. Le tableau 3 résume l'interprétation qui est faite de 8 situations possibles.

On remarquera que ces critères sont établis par l'organisme de réglementation américain, la Nuclear Regulatory Commission (NRC), pour les exploitants de ce pays. Au Canada, la Commission de contrôle de l'énergie atomique n'a pas adopté de tels critères envers les exploitants canadiens. Cependant, l'utilisation d'un tel outil de décision est approprié dans le cadre du suivi des essais d'un système important pour la sûreté de l'installation.



Tableau 3

## Interprétation de la progression des défaillances en essai

<u>Progression des</u> <u>défaillances</u>	<u>Interprétation</u>
A. $\geq 2 / 20$ $\geq 5 / 50$ $\geq 10 / 100$	Condition inacceptable requérant une action immédiate pour déclarer le groupe indisponible. L'objectif de fiabilité de 95% n'est pas rencontré et aucune indication n'est donnée quant à son amélioration. Le programme de maintenance préventive doit être amélioré avant de déclarer à nouveau le groupe disponible.
B. $\geq 2 / 20$ $\geq 5 / 50$ $< 10 / 100$	Condition grave requérant une action immédiate pour déclarer le groupe indisponible. Il y a évidence d'une dégradation récente de la fiabilité. Une recherche des causes de cette situation doit être faite.
C. $\geq 2 / 20$ $< 5 / 50$ $< 10 / 100$	Condition sous surveillance. La probabilité de défaillance du groupe est satisfaisante. Un groupe électrogène moyen est dans cette condition 25% du temps. Une surveillance renforcée est néanmoins requise.
D. $< 2 / 20$ $< 5 / 50$ $< 10 / 100$	Condition acceptable sans aucune restriction.
E. $< 2 / 20$ $< 5 / 50$ $\geq 10 / 100$	Condition acceptable. Il y a une indication d'un problème antérieur qui semble être résolu. Une surveillance relâchée est préconisée.
F. $< 2 / 20$ $\geq 5 / 50$ $\geq 10 / 100$	Condition acceptable avec restriction. Un problème récent semble avoir été corrigé. Cependant, une surveillance adéquate est de mise pour détecter toute anomalie.
G. $< 2 / 20$ $\geq 5 / 50$ $< 10 / 100$	Condition acceptable avec restriction. Observation similaire à la situation précédente, à l'exception près que l'historique de fonctionnement, avant correction du défaut, est plus récente.
H. $\geq 2 / 20$ $< 5 / 50$ $\geq 10 / 100$	Condition sous surveillance. L'historique de fonctionnement du groupe laisse entrevoir un problème qui n'aurait pas été corrigé adéquatement. C'est une situation requérant une évaluation détaillée de l'état du groupe. Une surveillance renforcée est de mise.

Légende : Le libellé " $\geq 2 / 20$ " signifie que plus de deux défaillances ont été observées lors des 20 derniers essais.

## ANNEXE G

### Données d'exploitation des groupes électrogènes diesel

Les données d'exploitation des quatre groupes électrogènes diesel de catégorie III sont fournies ici. Ces données couvrent la période commerciale de la centrale, soit depuis le premier octobre 1983 jusqu'au 31 décembre 1997. Elles proviennent du quatrième rapport trimestriel de l'année 1997 de la centrale nucléaire Gentilly-2.

Ces données d'exploitation ont servi pour le calcul des durées d'indisponibilité en entretien préventif incluses dans l'arbre de défaillance. Ces données sont classées en fonction du trimestre courant et du cumulatif pour l'année courante et la période commerciale. Pour chacune de ces périodes, on retrouve :

1. le nombre d'essais effectués, réussis et échoués;
2. le nombre d'heures d'indisponibilité en entretien correctif, préventif et cumulé;
3. le nombre d'heures de fonctionnement.

En second lieu, on retrouve la comptabilisation de l'indisponibilité planifiée. Ici, des ensembles, appelés "semaines" ont été formés sur la base de la périodicité et de la complémentarité des entretiens préventifs.

## Groupes électrogènes de cat. III

## Statistiques d'exploitation

	ESSAIS ET DÉMARRAGES								
	TRIMESTRE			ANNEE COURANTE			PÉRIODE COMMERCIALE		
	tentés	réussis	échoués	tentés	réussis	échoués	tentés	réussis	échoués
DG-1	10	10	0	63	63	0	1107	1102	5
DG-2	13	13	0	56	56	0	1087	1068	19
DG-3	16	16	0	68	68	0	1095	1079	16
DG-4	14	14	0	54	54	0	1056	1042	14

	HEURES D'INDISPONIBILITÉ								
	TRIMESTRE			ANNEE COURANTE			PÉRIODE COMMERCIALE		
	ent. corr.	ent. prév.	cumul.	ent. corr.	ent. prév.	cumul.	ent.corr.*	ent prév.*	cumul.**
DG-1	0	0	0	23,91	31,84	55,75	253,95	811,21	1105,2
DG-2	0	0	0	3,75	16,75	20,5	350,78	485,11	875,25
DG-3	0	10,92	10,92	0,8	46,08	46,88	1576,2	485,56	2111
DG-4	0	22,58	22,58	1,5	55,34	56,84	624,32	575,13	1259,3

	HEURES DE FONCTIONNEMENT		
	TRIMESTRE	ANNEE COURANTE	PÉRIODE COMMERCIALE
DG-1	13,6	82,1	3150,6
DG-2	25,5	177,5	2531,5
DG-3	18,1	120,9	2794,1
DG-4	14,9	109,4	2278,9

\* Données non disponibles avant 85.07.01

\*\* Données non disponibles avant 85.01.01

## COMPTABILISATION DE L'INDISPONIBILITÉ PLANIFIÉE

(Référence: voir les deux figures suivantes)

### Cycle de huit (8) ans:

#### 1.0 Indisponibilité planifiée aux ans:

- Semaine "A", fréquences 13, 26, 52.....	43 heures
- Semaine "B", fréquences 13, 26, 52.....	7 heures
- Semaine "C", fréquences 13, 26, 52.....	11 heures
- Semaine "D", fréquences 13, 26, 52.....	7 heures

**Total 68 heures**

#### 2.0 Indisponibilité planifiée aux deux (2) ans:

- Semaine "A", fréquences 13, 26, 52, 104.....	49 heures
- Semaine "B", fréquences 13, 26, 52, 104.....	7 heures
- Semaine "C", fréquences 13, 26, 52, 104.....	11 heures
- Semaine "D", fréquences 13, 26, 52, 104.....	7 heures

**Total 74 heures**

#### 3.0 Indisponibilité planifiée aux cinq (5) ans:

- Semaine "A", fréquences 13, 26, 52, 104, 260.....	49 heures
- Semaine "B", fréquences 13, 26, 52, 104, 260.....	7 heures
- Semaine "C", fréquences 13, 26, 52, 104, 260.....	11 heures
- Semaine "D", fréquences 13, 26, 52, 104, 260.....	7 heures
- Arrêt annuel, fréquence 260.....	3 heures

**Total 77 heures**

#### 4.0 Indisponibilité planifiée aux quatre (4) ans et aux huit (8) ans:

- Fréquences 13, 26, 52, 104, 208, 260, 416: Idem à 2.0

# **SEMAINE "A" (54600-DG3)**

Fréquence de la FEP

260

CB/E2

Équipement

EE-00105

(7)

Heures d'Indisponibilité

52

DG3

EE-30123

(7)

52

CMDE DG3

EI-00133

(18)

52

MOTEUR

EM-00208

(32)

52

5465-DG27

EM-0216C

(8) ENHORS

416

5464 FM3  
5465-CPM23

EE-00316

(8)

104

PL2503

EM-00141

(6)

13

DG3

EM-00204

(6)

13

5465-CP23/27

EM-0218C

(2) ENHORS

208

5464-PM25/27  
5466-PM31  
5467-PM23

EE-00320

(3)

26

DG3

EM-00447

(4)

26

5465-DG27

EM-0215C

(4) ENHORS

104

DG3

EM-00442

(6)

Groupe EE

Groupe EI

Groupe EM

Indisponibilité = 11 hres

Indisponibilité = 24 hres

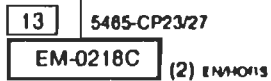
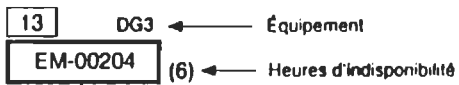
Indisponibilité = 49 hres

Préparé par : Guy Faucher  
section Électricité  
06-11-95

Indisponibilité maximale SEMAINE "A" = 49 hres

### SEMAINE "B" (54600-DG3)

Fréquence de la FEP

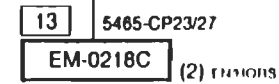


Groupe EM

Indisponibilité = 7 hres

Indisponibilité SEMAINE "B" = 7 hres

### SEMAINE "C" (54600-DG3)

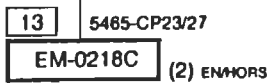
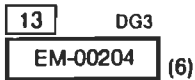


Groupe EM

Indisponibilité = 11 hres

Indisponibilité SEMAINE "C" = 11 hres

### SEMAINE "D" (54600-DG3)

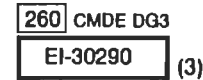


Groupe EM

Indisponibilité = 7 hres

Indisponibilité SEMAINE "D" = 7 hres

### ARRÊT ANNUEL (54600-DG3)



Groupe EI

Indisponibilité = 3 hres

Indisponibilité ARRÊT ANNUEL = 3 hres

Préparé par : Guy Faucher  
section Électricité  
08-11-95

## ANNEXE H

### Sommaire du programme d'entretien préventif

Une synthèse du programme d'entretien préventif exécuté sur les groupes électrogènes diesel de catégorie III est présentée au tableau 4. Il inclut le numéro de fiche d'entretien préventif et son but.

Tableau 4

## Sommaire du programme d'entretien préventif

<u>Numéro de fiche</u>	<u>But</u>
EM-00203	<p>Inspecter le régulateur</p> <p>Lubrifier les paliers des arbres de commande, la timonerie et la crémaillère</p> <p>Inspecter le carter et l'engrenage des démarreurs à air</p> <p>Répéter EM-00199</p> <p>Coordonner avec EM-0218 A</p>
EM-00199	Lubrifier les pièces mobiles des DG
EM-0218A	<p>Changer l'huile du compresseur et le filtre à air du circuit d'air comprimé</p> <p>Resserrer les boulons de tête, de couvercle de bout et de poulie</p> <p>Vérifier les courroies (tension, usure, etc.)</p> <p>Examiner les raccords et les joints</p>
EM-00205	<p>Vérifier la déflexion du vilebrequin</p> <p>Vérifier l'accouplement des pompes de combustible 54660-P-29, 37, ...</p> <p>Répéter EM-00203 et EM-00199 (DG-1)</p> <p>Essai de 8h à 100% PP et 1h à 110%</p>
EM-00210	Essai annuel (Pré-requis EM-0219 A, B, C, D)
EM-00219A	<p>Vérif. pompe transfert combustible 54660-P-25 (DG-1)</p> <p>Nettoyer filtre 54660-FR-51 (DG-1)</p> <p>Essai de la pompe 54660-P-29 (DG-1)</p>
EM-0215A	<p>Nettoyer le filtre à air du circuit d'air comprimé</p> <p>Nettoyer le moteur diesel 54650-DG-25, 26, 27, 28</p> <p>Coordonner avec EM-00205 (DG-1)</p> <p>Essai de 2h du circuit d'air comprimé</p>
EM-0216A	<p>Changer l'huile moteur du moteur diesel du circuit d'air comprimé</p> <p>Remplacer les filtres à huile, à combustible et à air</p> <p>Vérifier l'ajustement des soupapes, le fonctionnement de l'injecteur,...</p> <p>Nettoyer l'équipement au complet</p> <p>Vérifier les courroies</p> <p>Coord. avec EM-00206 et EM-00215A (DG-1)</p>



Tableau 4 (suite)

<u>Numéro de fiche</u>	<u>But</u>
EM-00212	Nettoyer le ventilateur du carter Inspecter l'engrenage de commande du régulateur de vitesse Vérifier le turbocompresseur et le silencieux d'admission de l'air Coordonner avec EM-00203, EM-00205, EM-00206 et EM-00210 (DG-1)
EM-00206	Remplacer les filtres à air, à huile et à combustible Changer l'huile moteur Vérifier et régler le jeu des soupapes Vérifier et régler l'ajustement de la crémaillère Vérifier le serrage des boulons de fixation du moteur-alternateur Changer l'huile du gouverneur Inspecter les engrenages du moteur Vérifier les injecteurs Vérifier la mise en phase des pompes d'injection Changer l'huile du palier de la génératrice Nettoyer les démarreurs à air Nettoyer les crépines sur les lignes à air Lubrifier les pompes 54660-P-29,... Lubrifier et vérifier l'accouplement des pompes Analyser le combustible Répéter EM-0205, EM-0203, EM-00199 (DG-1) Terminer par un essai ½ heure
EE-30117	Inspecter le niveau d'électrolyte et la propreté des accumulateurs
EE-00314	Inspecter et graisser le carter d'évacuation et le moteur du compresseur à air
EE-30121	Faire une inspection électrique et mécanique de l'alternateur, du MALT du neutre, des condensateurs au 65460-PL-2511 (DG-1), des éléments chauffants 54600-HR-01 (DG-1), des brosses et du collecteur Nettoyer les panneaux Coordonner avec EI-00131
EE-00318	Vérifier, nettoyer et lubrifier le serrage des connexions

Tableau 4 (suite)

<u>Numéro de fiche</u>	<u>But</u>
EI-30289	Entretien quinquennal du Relais 27
EI-30290	
EE-00045	Vérifier l'alimentation 24 V c.c.
	Vérifier le niveau d'électrolyte et la propreté des accumulateurs
	Vérifier le serrage des raccords électriques, le réglage des tensions d'entretien et d'égalisation
	Simuler l'annonciation locale et à distance
	Inspecter les fusibles et les porte-fusibles
	Inspecter les boîtes de soufflages
EE-00115	Nettoyer les bases
	Prendre la pression des contacts
	Prendre la résistance des contacts
	Vérifier les souffleurs d'arc
	Nettoyer les cellules
EI-00139	Vérifier et recalibrer
	Coordonner avec EI-00135
EI-00131	Inspecter 65460-PL-2501, PL-521, PL-2521, PL-14 (DG-1)
	Vérifier la logique des compresseurs à air
	Inspecter les B.J. d'interconnection
	Vérifier et calibrer le régulateur de vitesse, le régulateur de tension, les mesures locales (PL-2501) et à distance (PL-14), l'instrumentation et la logique de synchronisation
	Vérifier la logique de commande lors du démarrage et de l'essai de 48 heures
	Coordonner avec EM-00206 et EM-00210 (essai)
EI-00135	Vérifier et recalibrer (au besoin) les relais de protection
	Vérifier le fonctionnement du relais 64FA (PL 2501, DG-1)

## ANNEXE I

### Sommaire des essais périodiques

Cette annexe est une synthèse du programme d'essais périodiques. Ils proviennent du manuel d'exploitation des groupes électrogènes diésel de catégorie III. Ce sommaire, au tableau 5, renferme le numéro de la procédure d'essai ainsi que son but.

Tableau 5

#### Sommaire du programme d'essais périodiques

<u>Numéro d'essai</u>	<u>But</u>
54600-8.1	Vérifier la montée en puissance et la prise en charge des DG.
54600-8.5	Vérifier le bon fonctionnement des séquenceurs pairs et impairs.
54600-8.7	Exécuter la rotation des pompes de pré-lubrification des DG.
54600-8.11	Vérifier le bon fonctionnement des compresseurs, des moteurs diésel et des interrupteurs de pression qui commandent le démarrage et l'arrêt du groupe compresseur (circuit de démarrage à air comprimé).
54600-8.15	Vérifier le bon fonctionnement des démarreurs des DG. Essai de démarrage avec un seul démarreur.
54600-8.19	Vérifier le bon fonctionnement des automatismes du système de délestage des charges motorisées raccordées aux barres E ou F, du démarrage des deux groupes électrogènes impairs (pairs), les séquenceurs de charges, la synchronisation automatique des deux DG d'une même parité et le partage de la charge entre les deux DG d'une même parité.

## ANNEXE J

### Base de données des taux de défaillances des équipements (DGA.TC)

La base de données des taux de défaillance des équipements est incluse ici. Elle est produite par CAFTA for Windows.

On donne ici une courte explication des chacun des principaux champs. Ainsi, le champ RATE désigne le taux de défaillance, symbolisé par  $\lambda$ , suivant une loi exponentielle. Dans le cas présent, les taux de défaillance génériques sont exprimés sous une base d'années. Le champ FACTOR, symbolisé par  $t$ , désigne la période de mission considéré dans l'arbre de défaillance pour chacun des équipements, sur une base annuelle. Le champ PROB est la probabilité résultante donnée par l'expression  $P = 1 - e^{-\lambda t}$ .

Ces données génériques proviennent des sources suivantes :

- Base de données d'Ontario Hydro #86296 (document non public)
- Études de fiabilité de Gentilly-2 (document non public)
- Rapport EPRI NP-5924

CODE	RATE	FACTOR	PROB	DESCRIPTION
5460208V01-208IN	5.04E-6	9.5e-7	4.79E-12	Panne du 208 Vc.a. cat. III 5343-PD-233 CCT#2
5460208V02-208IN	5.04E-6	1.9E-6	9.58E-12	Perte du 208 Vc.a. cat. IV 5344-PD-254 CCT 7, 9 et 11
5460208V03-208IN	5.04E-6	9.5E-7	4.79E-12	Panne du 208 Vc.a. cat. III 5343-PD-233 CCT 31 et 33
54602501B4-FU-FF	0.35E-3	1.9E-6	6.65E-10	Fusible #4 brûlé à l'intérieur du PL-2501B
5460250V01-250IN	5.04E-6	1.9E-6	9.58E-12	Panne 250Vc.c. cat. I panneau 5520-PL-1571 FU-107, 108, 109, 110
546032----RELFF	14.2E-3	1.9E-6	2.70E-08	Panne relais de prot. de puissance directionnelle 32
546040----RELFF	14.2E-3	1.9E-6	2.70E-08	Panne relais de prot. de champ 40
546040OHMS-RELFF	14.2E-3	1.9E-6	2.70E-08	Défaillance résistance 40 ohms
546046&A---RELFF	14.2E-3	1.9E-6	2.70E-08	Panne relais de prot. d'intensité à séquence inverse 46 et 46A
546048V01--48-IN	5.04E-6	1.9E-6	9.58E-12	Panne 48Vc.c. cat. I panneau 5510-PL-553 FU-835 et 836
546048V02--48-IN	5.04E-6	1.9E-6	9.58E-12	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-381, 382
546048V03--48-IN	5.04E-6	6.33e-7	3.19E-12	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-657 et FU-658
546048V04--48-IN	5.04E-6	6.33e-7	3.19E-12	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-641 et 642
546048V05--48-IN	5.04E-6	6.33e-7	3.19E-12	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-643 et 644
546048V06--48-IN	5.04E-6	6.33e-7	3.19E-12	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-843 et 844
546048V07--48-IN	5.04E-6	6.33E-7	3.19E-12	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-823 et 824
546048V08--48-IN	5.04E-6	9.5E-7	4.79E-12	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-653 et 654
546048V09--48-IN	5.04E-6	6.33e-7	3.19E-12	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-649 et 650
546048V10--48-IN	5.04E-6	9.5e-7	4.79E-12	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-855 et 856
546048V11--48-IN	5.04E-6	9.5e-7	4.79E-12	Perte du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-859 et 860
546048V12--48-IN	5.04E-6	9.5e-7	4.79E-12	Panne du 48 Vc.c. cat. I 5510-PL-553 FU-839 et 840
54604HR1---4HRDE		.9	9.00E-01	Défaillance de 5464-HR-1 découverte en essai ou en entretien
54604HR1---4HRND		.1	1.00E-01	Défaillance de 5464-HR-1 non-découverte en essai ou en entretien
546050NA---RELFF	14.2E-3	1.9E-6	2.70E-08	Panne relais de prot. d'intensité de neutre 50NA
546051N---RELFF	14.2E-3	1.9E-6	2.70E-08	Panne relais de prot. courant de terre 51 N
546051V---RELFF	14.2E-3	1.9E-6	2.70E-08	Panne relais de prot. à retenue de tension 51 V
54605CP21--CPAFF	4.32E-3	6.33e-7	2.73E-09	Défaillance du compresseur 5465-CP-21
5460600V01-600IN	5.04E-6	6.33e-7	3.19E-12	Panne du 600 Vc.a. cat. IV 5354-PL-1545 CCM45/M5
5460600V02-600IN	5.04E-6	6.33e-7	3.19E-12	Panne du 600 Vc.a. cat. IV 5354-PL-1545 CCM45/Q2
5460600V03-600IN	5.04E-6	6.33e-7	3.19E-12	Panne du 600 Vc.a. cat. IV 5354-PL-1545 CCM45/P5
5460600V04-600IN	5.04E-6	6.33e-7	3.19E-12	Panne du 600 Vc.a. cat. IV 5354-PL-1545 CCM45/P1
5460600V05-600IN	5.04E-6	6.33e-7	3.19E-12	Panne du 600 Vc.a. cat. IV 5354-PL-1545 CCM45/P2
5460600V06-600IN	5.04E-6	6.33e-7	3.19E-12	Panne du 600 Vc.a. cat. III 5353-PL-1533 CCM33/P1
5460621X---DETFF	2.16E-3	6.33e-7	1.37E-09	Panne du circuit de relèvement (relais de surv. tension 621X-1 et tempo. 621-1)
5460622X1--DETFF	2.16E-3	6.33e-7	1.37E-09	Panne du circuit de relèvement (relais de surv. tension 622X-1 et tempo. 622-1)
546064FA---RELFF	14.2E-3	1.9E-6	2.70E-08	Panne relais 64 FA
54607HR1---HR-DE		.9	9.00E-01	Défaillance du 5467-HR-1 découverte en essai ou en entretien
54607HR1---HR-FF	5.4E-3	6.33e-7	3.42E-09	Défaillance du réchauffeur 5467-HR1
54607HR1---HR-ND		.1	1.00E-01	Défaillance du 5467-HR-1 non-découverte en essai ou en entretien
54607HR3---HR-FF	5.4E-3	6.33e-7	3.42E-09	Défaillance du réchauffeur 5467-HR3
54607P21---P2-DE		.9	9.00E-01	Défaillance de la pompe 5467-P-21 découverte en essai ou en entretien
54607P21---P2-FF	1.56E-2	6.33e-7	9.87E-09	Défaillance de la pompe 5467-P-21
54607P21---P2-ND		.1	1.00E-01	Défaillance de la pompe 5467-P-21 non-découverte en essai ou en entretien
546087----RELFF	14.2E-3	1.9E-6	2.70E-08	Panne relais de prot. différentiel 87 (ph. A, B, C)
5460ACCEL--TENFF	1.78E-3	1.27E-6	2.26E-09	Panne du circuit d'accélération
5460ACCELD-TENFF	1.78E-3	6.33E-7	1.13E-09	Panne du circuit de détection de panne d'établissement de la tension
5460ALT---ALTDE		.9	9.00E-01	Défaillance de l'alternateur découverte en essai ou en entretien
5460ALT---ALTEN		5.0E-9	5.00E-09	Alternateur 5460-ALT-1 indisponible en entretien
5460ALT---ALTES		5.0E-10	5.00E-10	Alternateur 5460-ALT-1 indisponible en essai
5460ALT---ALTFF	3.96E-2	1.9E-6	7.52E-08	Défaillance de l'alternateur 5460-ALT-1
5460ALT---ALTND		.1	1.00E-01	Défaillance de l'alternateur non-découverte en essai ou en entretien
5460ALT---STAHT	3.00E-04	1.9E-6	5.70E-10	Stator température haute
5460ALT---TI-SO	2.16E-3	1.9E-6	4.10E-09	Déclenchement intempestif de 65460-TI-1209
5460ALTOIL-OIILL	2.28E-3	1.9E-6	4.33E-09	Bas niveau ou fuite d'huile de lubrification alternateur
5460BAT-C3-BATIN	2.16E-3	9.5e-7	2.05E-09	Batteries indisponibles
5460CB----CB-DE		0.9	9.00E-01	Défaillance du disjoncteur découverte en essai ou en entretien
5460CB----CB-ND		0.1	1.00E-01	Défaillance du disjoncteur non-découverte en essai ou en entretien
5460CB-COM-CB-NI	45.0E-3	1.9E-6	8.55E-08	Défaillance du circuit d'enclenchement et d'interposition
5460CB-DEF-CB-FF	2.28E-2	1.9E-6	4.33E-08	Défaillance du disjoncteur
5460CB-ENT-CB-EN		4.34E-10	4.34E-10	Disjoncteur CB/E12 indisponible en entretien
5460CB-ESS-CB-ES		4.34E-11	4.34E-11	Disjoncteur CB/E12 indisponible en essai
5460CB/E12-CB-OS	7.26E-3	1.9E-6	1.38E-08	Disjoncteur ouverture intempestive
5460CB1----CB-FF	2.28E-2	9.5e-7	2.17E-08	Défaillance du disjoncteur CB1
5460CB2----CB-FF	2.28E-2	9.5e-7	2.17E-08	Défaillance du disjoncteur CB2

CODE	RATE	FACTOR	PROB	DESCRIPTION
5460BCAT3-CB-AT		1.9E-11	1.90E-11	Au moins un disjoncteur est demeuré attaché à la barre
5460CHARGE-CH-IN	8.76E-3	9.5e-7	8.32E-09	Chargeur indisponible
5460CIRDEM-TENFF	1.78E-3	6.33E-7	1.13E-09	Panne du circuit de démarrage
5460CIRVIT-VITFF	2.28E-2	9.5e-7	2.17E-08	Défaillance du circuit de détection de vitesse
5460CP21---CP-DE		.9	9.00E-01	Défaillance de 5465-CP-21 découverte en essai ou en entretien
5460CP21---CP-EN		1.16E-9	1.16E-09	Compresseur 5465-CP-21 indisponible en entretien
5460CP21---CP-ES		1.16E-10	1.16E-10	Compresseur 5464-CP-21 indisponible en essai
5460CP21---CP-ND		.1	1.00E-01	Défaillance de 5465-CP-21 non-découverte en essai ou en entretien
5460CP25---CP-EN		1.74E-9	1.74E-09	Motocompresseur diésel 5465-CP-25 indisponible en entretien
5460CP25---CP-ES		1.74E-10	1.74E-10	Motocompresseur diésel 5465-CP-25 indisponible en essai
5460CP25---CPPDE		.9	9.00E-01	Défaillance du compresseur CP-25 découverte en essai ou en entretien
5460CP25---CPPFF	2.16E-3	6.33e-7	1.37E-09	Défaillance du compresseur 5465-CP-25
5460CP25---CPPND		.1	1.00E-01	Défaillance du compresseur CP-25 non-découverte en essai ou en entretien
5460CPM25---CPMDE		.9	9.00E-01	Défaillance découverte en essai ou en entretien
5460CPM25---CPMFF	2.04E-3	6.33e-7	1.29E-09	Défaillance du moteur diésel 5465-CPM-25
5460CPM25---CPMND		.1	1.00E-01	Défaillance non-découverte en essai ou en entretien
5460CPM25---SY-DS	2.28E-3	6.33e-7	1.44E-09	Non-transmission du signal de démarrage en provenance de 5465-CPM-25
5460DG-----CO-IL	1.02E-2	1.27E-6	1.30E-08	Moteur diésel 5460-DG-1 fuite interne circuit de refroidissement
5460DG-----DG-EN		8.69E-9	8.69E-09	Moteur diésel 5460-DG-1 indisponible en entretien
5460DG-----DG-ES		8.69E-10	8.69E-10	Moteur diésel 5460-DG-1 indisponible en essai
5460DG-----DG-HL	1.092E-2	1.27E-6	1.39E-08	Groupe électrogène, charge trop élevée
5460DG-----OILLE	1.092E-2	1.27E-6	1.39E-08	Moteur diésel 5460-DG-1 fuite externe circuit de lubrification
5460DGD---CO-IL	1.02E-2	6.33e-7	6.46E-09	Moteur diésel 5460-DG-1 fuite interne circuit de refroidissement
5460DGD---OILLE	1.092E-2	6.33e-7	6.91E-09	Moteur diésel 5460-DG-1 fuite externe circuit de lubrification
5460DGMOT-DG-IF	2.04E-2	1.27E-6	2.59E-08	Défaillance mécanique interne du moteur diésel
5460DGMOTD-DG-IF	2.04E-2	6.33e-7	1.29E-08	Défaillance mécanique interne du moteur diésel
5460DGOIL-OILNB	2.28E-2	1.27E-6	2.90E-08	Niveau d'huile très bas
5460EAURES-TK-WA	3.24E-3	9.5e-7	3.08E-09	Infiltration d'eau dans le réservoir
5460ELCHAU-EL-DE		.9	9.00E-01	Défaillance de l'élément chauffant découverte en essai ou en entretien
5460ELCHAU-EL-FF	3.24E-3	1.9E-6	6.16E-09	Défaillance de l'élément chauffant
5460ELCHAU-EL-ND		.1	1.00E-01	Défaillance de l'élément chauffant non-découverte en essai ou en entretien
5460ESR-----ESRIN		3.47E-11	3.47E-11	Circuit d'ESR indisponible
5460EXC---EXCEN		5.42E-9	5.42E-09	Panneau PL-2521 indisponible en entretien
5460EXC---EXCES		5.42E-10	5.42E-10	Panneau PL-2521 indisponible en essai
5460EXC---EXCFF	1.20E-02	1.9E-6	2.28E-08	Défaillance de l'excitatrice / régulateur de tension
5460EXC-CH-FI-LO	1.20E-02	1.9E-6	2.28E-08	Perte du champ
5460EXC-EN-EXCND		.1	1.00E-01	Défaillance non-découverte en essai ou en entretien
5460EXC-ES-EXCDE		.9	9.00E-01	Défaillance découverte en essai ou en entretien
5460EXC-LO-EXCNI	1.78E-3	1.9E-6	3.38E-09	Défaut du circuit de détection de tension sortie DG-1
5460EY171-CH-IN	8.76E-3	9.5e-7	8.32E-09	Défaillance du convertisseur 65460-EY-171
5460FEU-SALSA-FE	0.018	1.9E-6	3.42E-08	Incendie dans la salle des DG
5460FR110-FR-EN	5.4E-4	9.5e-7	5.13E-10	Filtre d'admission 5460-FR-110, défaillance mécanique
5460FR50-FILBO	4.32E-3	1.27E-6	5.49E-09	Filtre 5464-FR-50, défaillance mécanique
5460FR50D-FILBO	4.32E-3	6.33e-7	2.73E-09	Filtre bouché
5460FR51-FILEN	5.4E-3	9.5E-7	5.13E-09	Filtre 5466-FR-51 encrassé
5460FS120-FS-FO	1.50E-02	6.33e-7	9.50E-09	FS-120, contact refuse de fermer si P < 15 kPa
5460FU-----FU-FF	0.35E-3	9.5e-7	3.33E-10	Fusibles défaillance totale
5460FUTE-CL-RL		1.9E-11	1.90E-11	Fuite majeure de chlore
5460HR1----HR-IF	6.48E-3	6.33e-7	4.10E-09	Défaillance du réchauffeur 5464-HR-1
5460HR3----HR-DE		.9	9.00E-01	Défaillance du 5467-HR-3 découverte en essai ou en entretien
5460HR3----HR-ND		.1	1.00E-01	Défaillance du 5467-HR-3 non-découverte en essai ou en entretien
5460HS1222-HS-FF	2.00E-03	6.33e-7	1.27E-09	HS-1222, mauvais contact ou mauvaise position
5460HS1223-HS-FF	2.00E-03	9.5e-7	1.90E-09	HS-1223 mauvais contact
5460HS1225-HS-FF	2.00E-03	6.33e-7	1.27E-09	Défaillance de 65460-HS-1225 (mauv. contact ou posit.)
5460HS1226-HS-FF	2.00E-03	6.33e-7	1.27E-09	Commutateurs HS-1226, HS-1227, PB-1231 mauv. position ou mauv. contact
5460HS1227-HS-FF	2.00E-03	6.33e-7	1.27E-09	Commutateurs HS-1227, HS-1228, PB-1231 mauv. position ou mauv. contact
5460HS1229-HS-FF	2.00E-03	6.33e-7	1.27E-09	65460-HS-1229, mauvais contact ou mauvaise position
5460HX15---HXAFF	1.08E-3	9.5e-7	1.03E-09	Echangeur 5460-HX-15, défaillance mécanique
5460INJ103-INJFF		1.27E-10	1.27E-10	Perte des caract. physico-chimiques du fluide de refroid., incl. déf. de INJ-10
5460LOGDEM-DEMDE		.9	9.00E-01	Défaillance de la logique découverte en essai ou en entretien
5460LOGDEM-DEMFF	2.28E-2	1.9E-6	4.33E-08	Défaillance de la logique de démarrage et d'arrêt
5460LOGDEM-DEMND		.1	1.00E-01	Défaillance de la logique non-découverte en essai ou en entretien
5460LOGDETDDETF	2.16E-3	6.33e-7	1.37E-09	Panne de la logique de détection (65460-TS-130#2 et AN-2501#4)
5460LS101--LS-FF	4.60E-02	9.5e-7	4.37E-08	Défaillance de 65460-LS-101
5460LS104--LS-EO	6.3E-3	9.5E-7	5.99E-09	LS-104, dérive de la consigne

CODE	RATE	FACTOR	PROB	DESCRIPTION
5460LS104--LS-FO	1.20E-02	9.5E-7	1.14E-08	LS-104, contact refuse de fermer pour niveau < 30%
5460LS1051-LS-EO	6.3E-3	9.5E-7	5.99E-09	LS-105#1 dérive de la consigne
5460LS1052-LS-EO	6.3E-3	9.5E-7	5.99E-09	LS-105#2 dérive de la consigne
5460LS129--LS-EO	6.3E-3	6.33E-7	3.99E-09	LS-129, dérive de la consigne
5460LT151--AS-FF	5.75E-3	9.5E-7	5.46E-09	Panne d'alimentation en air nourrice 67512-AS027EC
5460LT151--LT-FF	3.80E-02	9.5E-7	3.61E-08	Transmetteur de niveau, LT-151, défaillance totale
5460OILPIPETU-EL	3.24E-3	9.5E-7	3.08E-09	Tuyauterie fuite externe
5460P21----P21DE		.9	9.00E-01	Défaillance de la pompe 5464-P-21 découverte en essai ou en entretien
5460P21----P21EN		2.31E-9	2.31E-09	Pompe 5464-P-21 indisponible en entretien
5460P21----P21ES		2.31E-10	2.31E-10	Pompe 5464-P-21 indisponible en essai
5460P21----P21FF	7.56E-3	6.33E-7	4.79E-09	Défaillance de la pompe P-21
5460P21----P21ND		.1	1.00E-01	Défaillance de la pompe 5464-P-21 non-découverte en essai ou en entretien
5460P21----SY-DS	2.28E-3	6.33E-7	1.44E-09	Non-transmission du signal en provenance de 5467-P-21
5460P23----P21FF	7.56E-3	6.33E-7	4.79E-09	Défaillance de la pompe P-23
5460P23----P23DE		.9	9.00E-01	Défaillance de 5464-P-23 découverte en essai ou en entretien
5460P23----P23EN		2.31E-9	2.31E-09	Pompe 5464-P-23 indisponible en entretien
5460P23----P23ES		2.31E-10	2.31E-10	Pompe 5464-P-23 indisponible en essai
5460P23----P23ND		.1	1.00E-01	Défaillance de 5464-P-23 non-découverte en essai ou en entretien
5460P25----P25DE		.9	9.00E-01	Défaillance de 5466-P-25 découverte en essai ou en entretien
5460P25----P25EN		3.91E-9	3.91E-09	Pompe 5466-P-25 indisponible en entretien
5460P25----P25ES		3.91E-10	3.91E-10	Pompe 5466-P-25 indisponible en essai
5460P25----P25FF	1.56E-2	9.5E-7	1.48E-08	Défaillance de la pompe P-25
5460P25----P25ND		0.9	9.00E-01	Défaillance de 5466-P-25 non-découverte en essai ou en entretien
5460P25----PR-FF	1.56E-3	9.5E-7	1.48E-09	Pompe 5467-P-25 défaillance mécanique
5460P29----P25FF	1.56E-2	6.33E-7	9.87E-09	Défaillance de la pompe P-29
5460P29----P29DE		.9	9.00E-01	Défaillance de la pompe P-29 découverte en essai ou en entretien
5460P29----P29EN		2.90E-9	2.90E-09	Pompe 5466-P-29 indisponible en entretien
5460P29----P29ES		2.90E-10	2.90E-10	Pompe 5466-P-29 indisponible en essai
5460P29----P29FF	7.56E-4	6.33E-7	4.79E-10	Défaillance de la pompe P-29
5460P29----P29ND		.1	1.00E-01	Défaillance de la pompe P-29 non-découverte en essai ou en entretien
5460P33----P--FF	7.56E-4	9.5E-7	7.18E-10	Défaillance mécanique de la pompe 5464-P-33
5460P33----P37FF	1.56E-3	6.33E-7	9.87E-10	Pompe 5466-P-33, défaillance mécanique
5460P37----P37FF	1.56E-3	9.5E-7	1.48E-09	Pompe 5466-P-37, défaillance mécanique
5460PD233--PD-DC	7.56E-3	1.9E-6	1.44E-08	Interrupteur déclenché sur 5343-PD-233 CCT 13
5460PERCA--TENFF	1.78E-3	6.33E-7	1.13E-09	Panne du circuit de détection PERCA
5460PREDEM-CODFF		2.0E-10	2.00E-10	Conditions de pré-démarrage non remplies
5460PRV106-PRVFF	9.5E-3	9.5E-7	9.02E-09	Défaillance de la soupape de contrôle de pression, 65460-PRV-106
5460PS107--PS-EO	2.00E-04	6.33E-7	1.27E-10	65460-PS-107, dérive de la consigne
5460PS107--PS-FO	10.8E-3	6.33E-7	6.84E-09	65460-PS-107, mauvais contact
5460PS135--PS-EO	2.00E-04	6.33E-7	1.27E-10	PS-135, dérive de la consigne
5460PS135--PS-FO	10.8E-3	6.33E-7	6.84E-09	PS-135, défaut de contact
5460REFR--HX-FF	1.20E-02	1.27E-6	1.52E-08	Échangeurs de chaleur, HX-11A et HX-11B, défaillance mécanique
5460RL27---RL-DE		0.9	9.00E-01	Défaut du relais 27X découvert en essai ou en entretien
5460RL27---RL-EP		1.3E-10	1.30E-10	Relais 27X indisponible en entretien (entr. quinquennal EI-30289 et EI-30290)
5460RL27---RL-FF	2.88E-2	1.9E-6	5.47E-08	Défaillance du relais 27X
5460RL27---RL-ND		0.10	1.00E-01	Défaut du relais 27X non-découvert en essai ni en entretien
5460RL27---RL-NI		6.1E-9	6.10E-09	Pas de signal à l'entrée du relais 27X
5460SELCOM-TENFF	1.78E-3	6.33E-7	1.13E-09	Panne du circuit de sélection poste de commande
5460SM100--SM-FF	3.24E-3	6.33E-7	2.05E-09	Défaillance du démarreur 5465-SM-100
5460SM101--SM-FF	3.24E-3	6.33E-7	2.05E-09	Défaillance du démarreur 5465-SM-101
5460SPEED--TENFF	1.78E-3	1.27E-6	2.26E-09	Panne du circuit de détection de vitesse
5460SPEEDD-TENFF	1.78E-3	6.33E-7	1.13E-09	Panne du circuit de détection de panne d'établissement de la tension
5460START--DEMFF	2.28E-2	6.33E-7	1.44E-08	Défaillance de la logique de démarrage du groupe
5460STOP---SY-DS	2.28E-3	6.33E-7	1.44E-09	Non-transmission du signal en provenance de 65460-SY-1208
5460STR100-FILBO	4.32E-3	9.5E-7	4.10E-09	Crépine 5464-STR-100, défaillance mécanique
5460SV171--SV-FF	5.4E-3	9.5E-7	5.13E-09	Défaillance du servo-actuateur
5460SV174--SV-DE		.9	9.00E-01	Défaillance de SV-174 découverte en essai ou en entretien
5460SV174--SV-ND		.1	1.00E-01	Défaillance de SV-174 non-découverte en essai ou en entretien
5460SV174--SVAFF	7.9E-3	6.33E-7	5.00E-09	Défaillance de SV-174
5460T2101--SA-BT		6.33E-12	6.33E-12	Basse température salle T2-101
5460TK41---TK-EL	2.16E-2	9.5E-7	2.05E-08	Réservoir TK-41 et tuyauterie fuite externe
5460TK41---TKREL	8.64E-3	1.27E-6	1.10E-08	Tuyauterie ou réservoir d'expansion 5467-TK-41 fuite externe
5460TK41A--TKAEL	1.08E-3	6.33E-7	6.84E-10	Réservoir 5465-TK-41A fuite externe
5460TK41D--TKREL	8.64E-3	6.33E-7	5.47E-09	Tuyauterie ou réservoir d'expansion 5467-TK-41 fuite externe
5460TK45---TK-EL	2.16E-2	9.5E-7	2.05E-08	Réservoir 5466-TK-45 et tuyauterie circuit de combustible fuite externe

CODE	RATE	FACTOR	PROB	DESCRIPTION
5460TRV124-TRVFF	1.08E-3	1.27E-6	1.37E-09	Vanne thermostatique, 65460-TRV-124, non-ouverture circuit ESR pour T > 71 C
5460TRV124-TRVFO	1.08E-3	6.33E-7	6.84E-10	Non-ouverture de 65460-TRV-124 à T < 71 deg. C
5460TS121--TS-FO	4.6E-3	6.33E-7	2.91E-09	TS-121, contact refuse de fermer si T < 45 deg. C.
5460TS1301-TS-FO	4.6E-3	6.33E-7	2.91E-09	Défaillance de 65460-TS-130#1 (contact non-fermeture à T < 43 deg. C)
5460TT249G1TT-SO	2.16E-3	1.9E-6	4.10E-09	Déclenchement intempestif de 65460-TT-249G/1
5460TUAIR--TUREL	3.24E-3	6.33E-7	2.05E-09	Tuyauterie circuit d'air comprimé, fuite externe
5460TURBO10TU-FF	2.76E-2	9.5E-7	2.62E-08	Défaillance mécanique du turbo-compresseur
5460TUYAUF-TUFEL	3.24E-3	6.33E-7	2.05E-09	Tuyauterie, fuite externe
5460TUYCOM-TK-EL	2.16E-2	1.27E-6	2.74E-08	Tuyauterie fuite externe, circuit de combustible
5460TUYCOMDTK-EL	2.16E-2	6.33E-7	1.37E-08	Réservoir et tuyauterie fuite externe
5460VENTSA-VENIN		1.27E-12	1.27E-12	Mauvaise ventilation salle T2-101 (volets 7322-F-133, 135, 149, 151)
5460VOLT---TENFF	1.78E-3	1.27E-6	2.26E-09	Panne du circuit de détection de panne d'établissement de la tension
5460VOLTD--TENFF	1.78E-3	6.33E-7	1.13E-09	Panne du circuit de détection de panne d'établissement de la tension
5460XE171--XE-DE		.9	9.00E-01	Défaillance du régulateur de vitesse découverte en essai ou en entretien
5460XE171--XE-ND		.1	1.00E-01	Défaillance du régulateur de vitesse non-découverte en essai ou en entretien
5460XE171D-XE-FF	1.404E-2	6.33E-7	8.89E-09	Défaillance du régulateur de vitesse 65460-XE-171
5460ZT65PM1ZT-DE		.9	9.00E-01	Défaillance du potentiomètre motorisé découverte en essai ou en entretien
5460ZT65PM1ZT-FF	8.64E-3	9.5E-7	8.21E-09	Défaillance du potentiomètre motorisé 65460-ZT65-PM-1
5460ZT65PM1ZT-ND		.1	1.00E-01	Défaillance du pot. motorisé non-découverte en essai ou en entretien